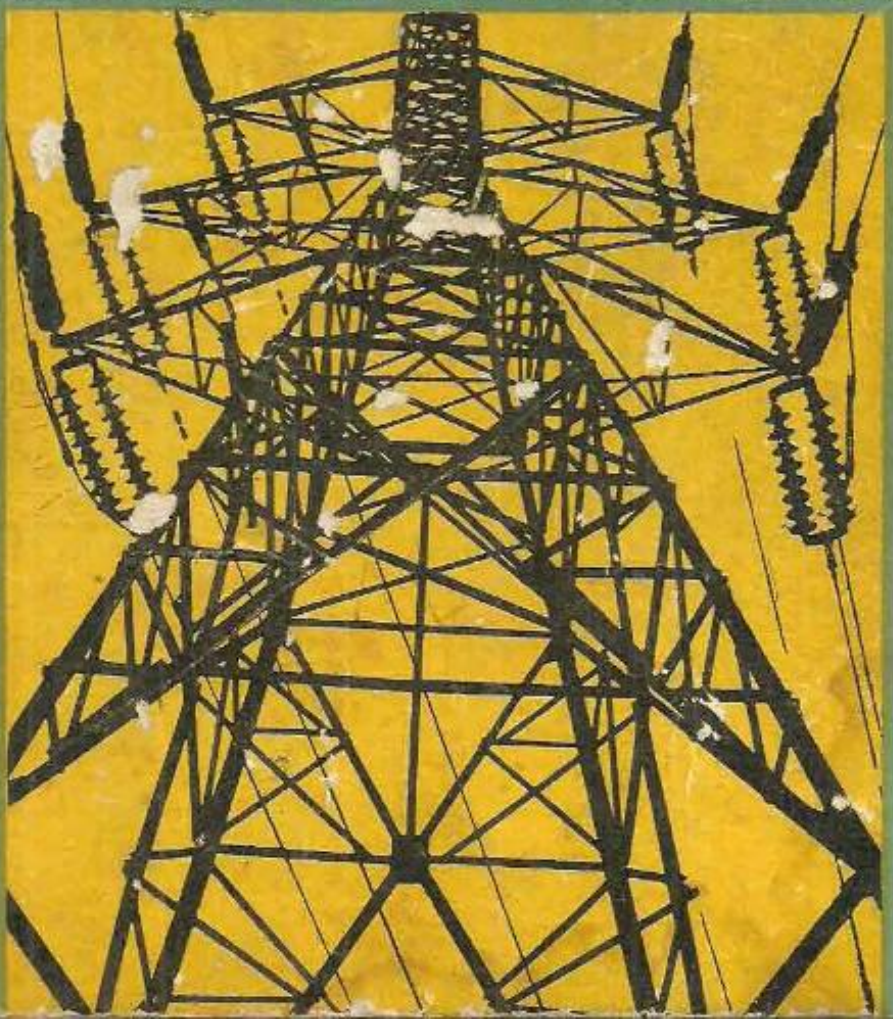
E. POTOLEA
GH. IACOBESCU
I. IORDĂNESCU

D. BĂLĂURESCU
E. POTOLEA
A. CIAMBA

# INSTALAȚII din CENTRALE și REȚELE ELECTRICE

Manual pentru licee industriale cu profil de electrotehnică, clasa a XI-a și a XII-a sau de mecanică clasa a XII-a, școli de maiștri și de specializare postliceală



Prof. dr. ing. I. POTOLEA
Prof. dr. ing. GH. IACOBESCU
Prof. dr. ing. I. IORDĂNESCU

Dr. ing. D. BALAURESCU
Ing. ELISABETA POTOLEA
Ing. A. CIAMBA

# INSTALAȚII din CENTRALE și REȚELE ELECTRICE

**Manual pentru licee industriale cu profil de electrotehnică,**
**anii III și IV**
(specializarea electrician pentru centrale și rețele electrice)
**sau mecanică anul IV**
(specializările : mecanic pentru utilaje și instalații termoenergetice și electromecanic pentru utilaje și instalații hidroenergetice),
**școli de maiștri și de specializare postliceală**

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ, BUCUREȘTI – 1977

Manualul constituie o reeditare a ediției 1976

★

Contribuția autorilor :
prof. dr. ing. **Eugeniu Potolea** — cap. : 1, 15, 17 și coordonare
prof. dr. ing. **Gheorghe Iacobescu** — cap. : 7, 14
prof. dr. ing. **Ion Iordănescu** — cap. : 2, 3, 8, 11, 13
dr. ing. **Dumitru Balaurescu** — cap. : 4, 5, 6, 18
ing. **Elisabeta Potolea** — cap. : 9, 10, 12
ing. **Adrian Ciamba** — cap. : 16, 19

Referenți : ing. **N. Coman**,
ing. **G. Dedu**

✶

Redactor : ing. **D. Hrincu**
Tehnoredactor : **Steliana Antoniu**
Grafician : **V. Mihăescu**

Capitolul 1

# INTRODUCERE

## A. SCOPUL MANUALULUI

Societatea contemporană, cu multiplele ei necesități materiale și spirituale, a devenit un mare consumator de energie sub diferite forme. În industrie, în transporturi, în agricultură și în domeniul casnic se consumă cantități tot mai mari de energie, pentru a se produce lucru mecanic, căldură, lumină etc.

Trebuie precizat că producerea și consumul de energie sînt de fapt procese de transformare a energiei dintr-o formă în alta. De exemplu, prin consumul energiei electrice trebuie să se înțeleagă procesul de transformare a energiei electrice în lucru mecanic, căldură, lumină etc.

Energia electrică prezintă avantaje deosebite față de celelalte forme de energie :

— se transportă economic la mari distanțe ;

— se distribuie economic unui mare număr de consumatori, cu caracteristici diferite ;

— se transformă cu ușurință în lucru mecanic, căldură, lumină etc.

Date fiind aceste caracteristici remarcabile, producția și consumul de energie electrică ocupă un loc important în comparație cu producția și consumul altor forme de energie. Se poate afirma că, în etapa actuală, producția sau consumul de energie electrică reprezintă indicele cel mai important al nivelului tehnic și al standardului de viață ale unui popor.

Energia electrică se produce în centrale electrice și se transportă apoi la consumatori prin intermediul rețelelor electrice. În consecință, instalațiile din centrale și rețele electrice au rolul de a produce și a transporta energia electrică.

Scopul manualului este de a prezenta în mod succint principalele probleme referitoare la principiile de funcționare, construcția și exploatarea instalațiilor din centrale, stații și rețele electrice.

## B. RESURSE ENERGETICE NATURALE

Noțiunea de *sursă energetică* precizează calitatea unei surse de a fi de natură energetică, iar noțiunea de *resursă energetică* se referă la aspectul cantitativ al surselor, care formează rezervele sau resursele de energie.

Principalele resurse energetice naturale de care dispune omenirea în prezent sînt:

**Resursele combustibile:** turbă, cărbuni, țiței, gaze. Acestea sînt, în prezent, cele mai frecvente surse de energie folosite atît în centralele termoelectrice, cît și în alte instalații.

**Resursele hidraulice:** căderile de apă, mareele, valurile. Centralele hidroelectrice folosesc în special energia căderilor de apă ale rîurilor.

**Resursele nucleare.** Folosirea energiei nucleare sau atomice în centralele nuclearo-electrice prezintă o importanță deosebită, deoarece aceasta pare a fi soluția viitorului apropiat.

**Alte resurse de energie.** În afară de resursele energetice menționate mai există încă o serie de resurse, pentru a căror exploatare nu s-au dat încă soluții tehnico-economice întru totul acceptabile, iar unele dintre ele nu prezintă decît un interes local. Din această categorie de resurse energetice pot fi menționate următoarele:

*Energia vînturilor*, folosită în centralele eoliene. Aceste centrale nu au luat o dezvoltare prea mare, date fiind neregularitățile vînturilor și unele dificultăți tehnice în crearea de sisteme electrice interconectate;

*Energia radiantă a soarelui*, pentru a cărei folosire în centralele solare s-au făcut încercări, în special în regiunile mai calde ale globului pămîntesc. În ultimii ani, această energie este utilizată la navele cosmice și se încearcă utilizarea ei și în locuințe;

*Energia geotermică*, adică energia internă a scoarței pămîntului, este, de asemenea, folosită în unele instalații. Purtătorul de energie este constituit din vapori la presiuni și temperaturi înalte, extrași prin foraje la adîncimi de 150—1 000 m.

Resursele energetice naturale mai sus menționate pot fi clasificate din punctul de vedere al perisabilității lor în două mari categorii, și anume:

— resurse perisabile, care se găsesc în lume într-o cantitate limitată și care o dată consumate nu mai pot fi recuperate; acestea sînt resursele combustibile și cele nucleare;

— resurse neperisabile, care se găsesc în lume într-o cantitate limitată, dar pot fi exploatate în permanență fără a fi practic epuizate; acestea sînt resursele hidraulice, energia vîntului, energia radiantă a soarelui și altele.

Producerea energiei pe baza resurselor naturale este un proces de transformare, care este însoțit întotdeauna de pierderi de energie sub formă de căldură. Căldura dezvoltată în procesele de transformare a energiei poate fi uneori recuperată în parte și, deci, poate fi considerată ca o sursă secundară de energie. În consecință categoriile de resurse energetice naturale se pot considera de două feluri: *resurse energetice primare*, care se transformă în energie utilă la consumatori și *resurse energetice secundare*, care se prezintă sub formă de căldură dezvoltată în procesele de transformare a energiei primare.

## C. SISTEME ENERGETICE

Ansamblul instalațiilor în care se produce, se transportă și se consumă energia de diferite forme se numește *sistem energetic*. Conform definiției, sistemul energetic cuprinde o mare complexitate de instalații începînd cu amenajările pentru extragerea sau captarea resurselor energetice naturale, continuînd cu sistemul de conducte sau de vehicule pentru transportul combustibililor și sfîrșind cu instalațiile de transformare a energiei în forma necesară consumatorilor.

Sistemul energetic include de cele mai multe ori trei sisteme particulare : termoenergetic, hidroenergetic și electroenergetic.

**Sistemul electroenergetic**, numit și *sistem electric*, cuprinde instalațiile pentru producerea, transmiterea și consumul energiei electrice. Sistemul electroenergetic conține întotdeauna trei componente principale : centralele electrice, rețelele electrice și receptoarele electrice.

*Centrala electrică* este un ansamblu de instalații, care servesc la producerea energiei electrice prin transformarea energiei conținute în resursele naturale. Centralele electrice utilizate pe scară largă în sistemele electroenergetice sînt :

— termoelectrice (CTE), care consumă combustibili clasici (cărbuni, țiței, gaze) ;

— hidroelectrice (CHE), care utilizează în special energia căderilor de apă ;

— nuclearoelectrice sau atomoelectrice (CNE), care consumă combustibili nucleari.

*Rețeaua electrică* este un ansamblu de instalații care servesc la transmiterea și distribuirea energiei electrice. Conform acestei definiții rețeaua electrică conține două componente principale :

— liniile electrice, prin care se transmite energia electrică la o anumită tensiune ;

— stațiile electrice, în care se realizează transferul energiei electrice de pe un sistem de linii pe alt sistem de linii cu aceleași tensiuni sau cu tensiuni diferite.

În figura 1.1 sînt reprezentate în mod intuitiv principalele instalații ale sistemului electroenergetic.

Energia electrică se produce într-o *centrală electrică* și se debitează pe la bornele generatoarelor, la tensiunea de 6 kV pînă la 24 kV. Avînd în vedere transportul energiei la mare distanță, tensiunea este ridicată de la 6—24 kV la 110 kV, 220 kV sau 400 kV cu ajutorul transformatoarelor ridicătoare din *stația de transformare ridicătoare*. Energia electrică se transmite prin *linia aeriană de înaltă tensiune* pînă la *stația de transformare coborîtoare*, care alimentează *stația de conexiuni*. De la stația de conexiuni pornesc liniile în cablu, numite *fideri*, care alimentează *punctele de alimentare*. De la punctele de alimentare se ramifică liniile în cablu, numite *distribuitoare*, care alimentează transformatoarele coborîtoare, instalate în *posturi de transformare de joasă tensiune*. De pe barele de joasă tensiune ale posturilor de transformare pornesc liniile electrice, care alimentează tablourile de distribuție ale diferiților *consumatori* de energie electrică, industriali și casnici.

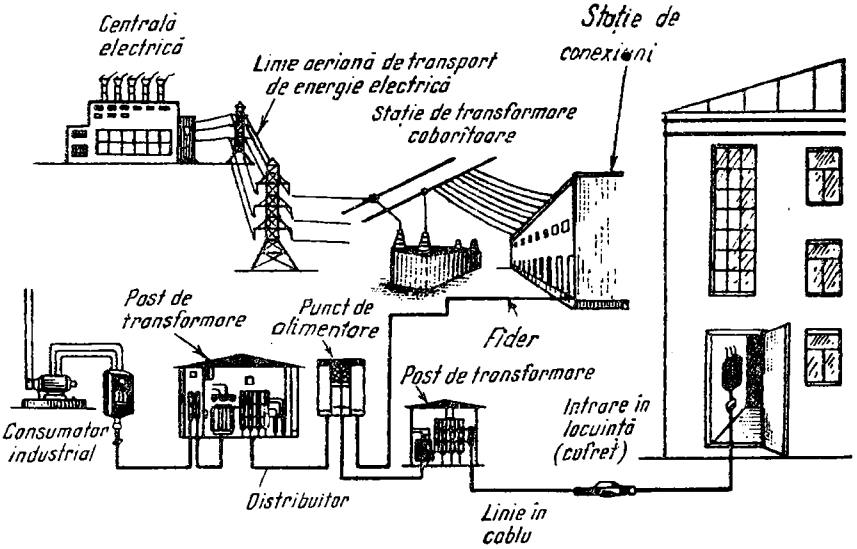



Fig. 1.1. Componentele unui sistem electroenergetic.

Una dintre caracteristicile tehnice ale unei instalații electrice dintr-un sistem energetic este tensiunea nominală, adică tensiunea de funcționare a instalației în regim normal. În țara noastră sînt standardizate următoarele tensiuni nominale între faze : 380 V, 660 V, 6 kV, 20 kV (35 kV), 110 kV, 220 kV și 400 kV. Tensiunea 30 kV este admisă, dar se recomandă să fie evitată la construcția instalațiilor noi. În instalațiile mai vechi există și tensiunile nominale 220 V, 500 V, 1 kV, 3 kV, 15 kV, 30 kV, 60 kV, care nu se mai admit la construcția instalațiilor noi.

## D. SCURT ISTORIC AL DEZVOLTĂRII SISTEMULUI ENERGETIC AL R. S. ROMÂNIA

În dezvoltarea sistemului energetic al țării noastre se disting două etape principale :

— etapa pînă la 23 August 1944, caracterizată printr-o dezvoltare inegală și lentă ;

— etapa după 23 August 1944, caracterizată printr-o dezvoltare planificată și rapidă.

Începuturile electrificării în țara noastră au fost promițătoare. În anul 1884 orașul Timișoara este iluminat cu ajutorul unei instalații de curent continuu, devenind astfel primul oraș electrificat din Europa. În continuare, dezvoltarea sistemului electroenergetic al țării noastre rămîne în urma celorlalte țări europene. După circa 60 ani de electrificare (în 1945) puterea instalată, de numai 710 MW, era răspîndită în circa 600 centrale, care produceau circa 1,250 miliarde kWh anual. Nu exista o politică de utilizare rațională a resurselor energetice naturale ale țării. Trei sferturi din energia electrică anuală

era produsă în centrale termoelectrice, care consumau combustibili superiori în timp ce centralele hidroelectrice contribuiau numai cu 8% la producția anuală de energie.

Rețelele electrice erau de asemenea slab dezvoltate. Exista o singură linie de 110 kV cu lungimea de 127 km, iar celelalte linii, destul de eterogene, funcționau la tensiuni de 60, 30, 15 și 6 kV. Cu excepția zonei petrolifere de pe valea Prahovei și a centrului Transilvaniei, în restul țării rețelele electrice funcționau independent.

În aceste condiții, în anul 1945 consumul de energie electrică pe locuitor a fost de circa 80 kWh, fapt care situa țara noastră pe unul dintre ultimele locuri din statisticile internaționale.

După instaurarea puterii populare a fost necesară mai întîi o perioadă de refacere a instalațiilor, care suferiseră și de pe urma războiului. S-a trecut apoi la electrificarea accelerată a țării pe baza planurilor elaborate sub conducerea Partidului Comunist Român.

Planul de electrificare, elaborat în 1950 pentru o primă perioadă de 10 ani (1951—1960), cuprindea următoarele obiective principale :

— creșterea producției anuale de energie electrică de la 2,1 miliarde kWh în 1950 la 7 miliarde kWh în 1960 ;

— utilizarea rațională a resurselor energetice prin dezvoltarea consumului de combustibili inferiori și de resurse hidraulice ;

— îmbunătățirea indicilor tehnico-economici ai centralelor prin utilizarea agregatelor de mare putere ;

— producerea combinată a energiei termice și electrice în centralele cu termoficare ;

— dezvoltarea rețelei de 110 kV avînd în vedere crearea sistemului electroenergetic național interconectat.

Aceste obiective ale planului de electrificare au fost îndeplinite și depășite. Producția de energie electrică în anul 1960 a fost de 7,7 miliarde kWh, depășind cu 10% prevederile planului.

Planul cincinal 1961—1965 și-a propus rezolvarea unor probleme legate de creșterea eficienței economice și a siguranței în funcționare a sistemului electroenergetic național. S-au instalat grupuri cu puteri mari, pînă la 100 MW și s-a construit rețeaua de interconexiune de 220 kV. În această perioadă se construiește prima linie de 400 kV pe distanța Luduș—Mucacevo—Lemeșani, prin care sistemul electroenergetic al țării noastre se interconectează cu sistemele electroenergetice ale țărilor socialiste vecine sau apropiate : U.R.S.S., R. P. Ungară, R. S. Cehoslovacă și R. P. Bulgaria. Producția anuală de energie electrică ajunge la 17,2 miliarde kWh.

În continuare, producția anuală de energie crește conform planurilor cincinale la 33 miliarde kWh în 1970 și la 58 miliarde kWh în 1975. În anul 1972 se pune în funcțiune centrala hidroelectrică de la Porțile de Fier și se realizează interconexiunea cu R. S. F. Jugoslavia.

Conform planului de dezvoltare a economiei naționale, aprobat de Congresul al XI-lea al Partidului Comunist Român, producția anuală de energie electrică va ajunge la circa 130—140 miliarde kWh în 1990. În etapa actuală a dezvoltării sistemului energetic național se pun probleme deosebite cu privire la economisirea energiei, prin utilizarea instalațiilor cu randamente ridicate și prin optimizarea structurii sistemului electroenergetic.

Capitolul 2

# LINII ELECTRICE AERIENE DE JOASĂ ŞI MEDIE TENSIUNE

Liniile electrice aeriene (LEA) sau supraterane sînt liniile care se construiesc deasupra solului.

*Liniile aeriene de joasă tensiune* sînt realizate cu tensiuni nominale de: 220, 380, 500 şi 1 000 V. Ponderea cea mai mare o au liniile de 380 V.

*Liniile aeriene de medie tensiune* sînt cele care funcţionează cu tensiuni cuprinse între 1 şi 35 kV inclusiv.

Elementele componente principale ale acestor linii sînt: conductoarele, izolatoarele, stîlpii, armăturile şi clemele.

## A. CONDUCTOARE

Pentru liniile aeriene de joasă şi medie tensiune, problema conductoarelor se poate limita la conductoarele active, care servesc la transmiterea energiei electrice, respectiv care sînt parcurse de curentul electric.

*Materialele* din care se realizează în prezent aceste conductoare sînt oţelul într-o măsură redusă, pe anumite porţiuni de linii de joasă tensiune rurale, cu consumatori puţini şi aluminiul pentru cea mai mare parte a liniilor de joasă şi medie tensiune.

*Caracteristicile electrice* şi *mecanice* mai importante ale materialelor din care se fabrică conductoarele sînt: *rezistivitatea* $\rho \left[\frac{\Omega\,mm^2}{m}\right]$, *greutatea specifică* $\gamma \left[\frac{daN}{cm^3}\right]$, *rezistenţa la rupere* $\sigma_r \left[\frac{daN}{mm^2}\right]$, *coeficientul de dilataţie termică* $\alpha \left[\frac{1}{grd}\right]$ şi *coeficientul de elasticitate* $E \left[\frac{daN}{mm^2}\right]$.

Din punct de vedere constructiv conductoarele pot fi monofilare (unifilare) sau masive şi multifilare sau funie.

*Conductoarele monofilare* au secţiune circulară ajungînd pînă la maximum 6 mm² la oţel şi la 25 mm² la aluminiu.

*Conductoarele multifilare* folosite la secţiuni mai mari prezintă, faţă de cele monofilare, avantajul că sînt mai flexibile şi se pot monta mai uşor, precum şi o siguranţă mecanică mai mare, deoarece dacă se rupe un fir, conductorul rămîne în funcţiune pînă la reparare, datorită celorlalte fire nerupte.

## B. IZOLATOARE

Izolatoarele servesc la fixarea de stîlpi a conductoarelor LEA, şi la izolarea acestora faţă de părţile mai apropiate ale stîlpilor care sînt legate la pămînt. Pentru a asigura o bună funcţionare a liniilor, izolatoarele trebuie să îndeplinească o serie de condiţii electrice şi mecanice.

Din **punct de vedere electric,** calitatea izolatoarelor este definită de tensiunea de conturnare, linia de fugă şi tensiunea de străpungere.

*Tensiunea de conturnare* reprezintă valoarea tensiunii la care apar descărcări electrice de-a lungul izolatorului între conductor şi consola stîlpului. Gradul de murdărire sau de poluare a suprafeţei izolatorului sau a atmosferei în care este montat are o mare influenţă asupra comportării acestuia la conturnare.

Izolatoarele mai sînt caracterizate, din punctul de vedere al conturnării, prin *linia de fugă* exprimată în cm kV şi este formată din suma distanţelor de pe suprafeţele rămase uscate în cazul unei ploi ($BC + CD + FG + GH$) şi a distanţelor prin aer ($BD + FH + IK$) (fig. 2.1). Aceste distanţe asigură izolaţia necesară conturnării sub ploaie. În regiuni cu poluare intensă, unde pot apărea depuneri pe izolatoare, se utilizează izolatoare cu linie de fugă mărită (întărite).

*Tensiunea de străpungere* este o altă caracteristică reprezentînd valoarea tensiunii la care descărcarea între conductor şi consolă are loc prin masa izolatorului.

Din acest punct de vedere se deosebesc izolatoare *nestrăpungibile,* la care distanţa prin masa izolatorului între conductor şi suport este egală cel puţin cu jumătatea distanţei prin aer (de conturnare), şi izolatoare *străpungibile,* cu distanţă respectivă mai redusă.

Materialele folosite pentru fabricarea izolatoarelor LEA trebuie să aibă o *rigiditate dielectrică* corespunzătoare, o *rezistenţă mecanică* mare şi o *stabilitate termică* bună. Astfel de materiale sînt: porţelanul, steatitul şi sticla călită. Izolatoarele de porţelan şi steatit se acoperă cu un strat de glazură sticloasă, care împiedică umezeala să pătrundă în masa izolatoarelor, îmbunătăţeşte calităţile izolante şi le dă o anumită culoare.

Din **punctul de vedere al solicitărilor mecanice** pe care le suportă, izolatoarele sînt de două categorii:

— izolatoare de susţinere, care preiau numai greutatea conductoarelor, inclusiv cea a chiciurii şi presiunea vîntului pe conductoare;

— izolatoare de întindere, care preiau în plus şi eforturile de tracţiune din conductoare.

**Tipuri de izolatoare.** Izolatoarele folosite la joasă şi medie tensiune se numesc *suport* sau *rigide* şi sînt astfel confecţionate încît să se poată fixa pe tije metalice, care sînt prinse pe stîlpi, direct sau prin intermediul unor console.

Izolatoarele suport pentru liniile de joasă tensiune (pînă la 1 kV) sînt de două tipuri şi anume: de susţinere şi de întindere.

*Izolatoarele suport de susţinere* (fig. 2.2) poartă indicativul N, urmat de un număr, care reprezintă înălţimea sa. Se fabrică în trei dimensiuni: N 60 pentru conductoare cu secţiunea maximă pînă la 10 mm², N 85 pentru conductoare cu secţiunea maximă pînă la 50 mm² şi N 95 pentru conductoare cu secţiunea maximă pînă la 150 mm². Izolatoarele de susţinere au *două*

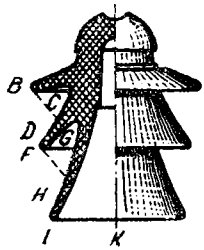



Fig. 2.1. Linia de fugă a unui izolator suport.

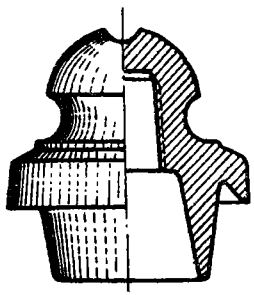


Fig. 2.2. Izolator de susținere pentru joasă tensiune (indicativ N).

*șanțuri* pentru montarea conductoarelor, unul în jurul gîtului și celălalt deasupra. Aceste izolatoare se fixează pe console sau pe stîlpi prin intermediul suporților drepți sau curbi.

*Izolatoarele suport de întindere* (fig. 2.3) se împart în două categorii : izolatoare *cu un singur șanț* care permit montarea unui singur conductor (indicativ T) și izolatoare *cu două șanțuri* care permit montarea a două conductoare (indicativ T D). La scrierea după indicativul T sau DT urmează numărul care reprezintă înălțimea izolatorului (T 65 ; T 80 ; T 115 ; TD 80 ; TD 115).

Izolatoarele suport de întindere se montează prin intermediul unor șuruburi și se fixează cu piulița de suporți din oțel lat. Izolatoarele pentru două conductoare se utilizează la stîlpii de colț și în punctele de separație sau derivație din rețea.

Izolatoarele suport de medie tensiune pentru 6—35 kV au o formă și dimensiuni constructive care le permite să reziste atît la străpungere, cît și la conturnare, în condiții atmosferice oricît de grele. Rezistența împotriva conturnărilor se obține din dezvoltarea liniei de fugă, dîndu-se părții superioare a izolatorului o formă de manta care acoperă și protejează restul suprafeței contra umezirii și murdăririi.

În țara noastră se fabrică izolatoare suport din porțelan tip Delta (fig. 2.4). Izolatoarele de 6, 10, 15 kV se execută dintr-o singură bucată, iar cele de

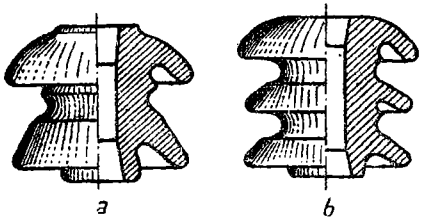



Fig. 2.3. Izolatoare de întindere pentru joasă tensiune :

*a* — pentru un singur conductor (indicativ T) ; *b* — pentru două conductoare (indicativ TD).

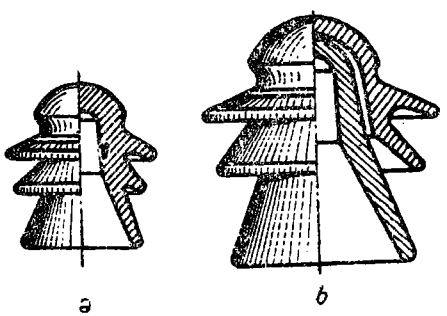



Fig. 2.4. Izolatoare suport pentru linii de 6–35 kV :

*a* — dintr-o singură bucată ; *b* — din două bucăți.

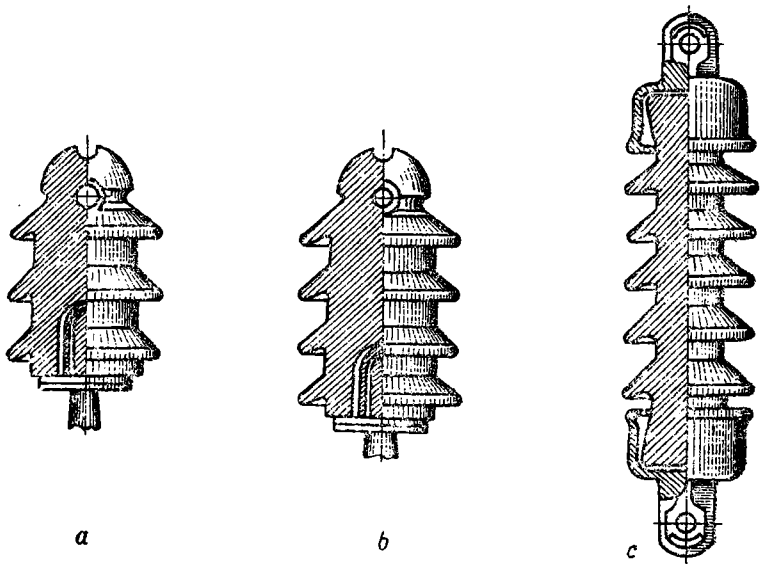



Fig. 2.5. Izolatoare nestrăpungibile :
a, b — izolatoare suport; c — izolator de întindere.

20 și 35 kV din două bucăți asamblate cu chit special. Dimensiunile izolatoarelor variază după tensiunea lor nominală. Ele se montează ca și cele de joasă tensiune pe suporți metalici drepți sau curbi. Tija suportului metalic pătrunde în interiorul izolatorului pînă deasupra șanțului pe care se fixează conductorul în cazul izolatoarelor străpungibile. În cazul izolatoarelor suport nestrăpungibile (fig. 2.5) suporții metalici nu pătrund în interiorul acestora decît foarte puțin.

## C. STÎLPI

Rolul stîlpilor LEA este a de susține conductoarele la o înălțime corespunzătoare deasupra solului. După destinația în linie stîlpii pot fi : de susținere, de întindere, de colț și terminali sau de capăt. Din punctul de vedere al materialului din care sînt făcuți, stîlpii LEA de joasă și de medie tensiune pot fi de lemn sau de beton armat.

**Stîlpii de lemn.** Pentru confecționarea stîlpilor de lemn se întrebuințează bradul, pinul și stejarul. Stîlpii de lemn au următoarele *avantaje* : sînt ieftini, ușor de executat, de manipulat și plantat. Ca *dezavantaje* au : durabilitate redusă, rezistență mecanică numai în lungul fibrelor și necesită lucrări de întreținere frecvente.

Pentru mărirea duratei sale de existență la circa 15—20 ani, lemnul se impregnează cu *substanțe antiseptice minerale* (sulfat de cupru etc.), *organice* (creozot) sau *mixte* (săruri naftalice), care contribuie la conservarea sa mai bună.

*Stîlpii de lemn simpli.* Stîlpii de susținere de lemn sînt, în general, stîlpi simpli (fig. 2.6), atît la joasă cît și la medie tensiune și sînt echipați cu izolatoare suport. Stîlpii de joasă tensiune sînt plantați direct în pămînt, iar

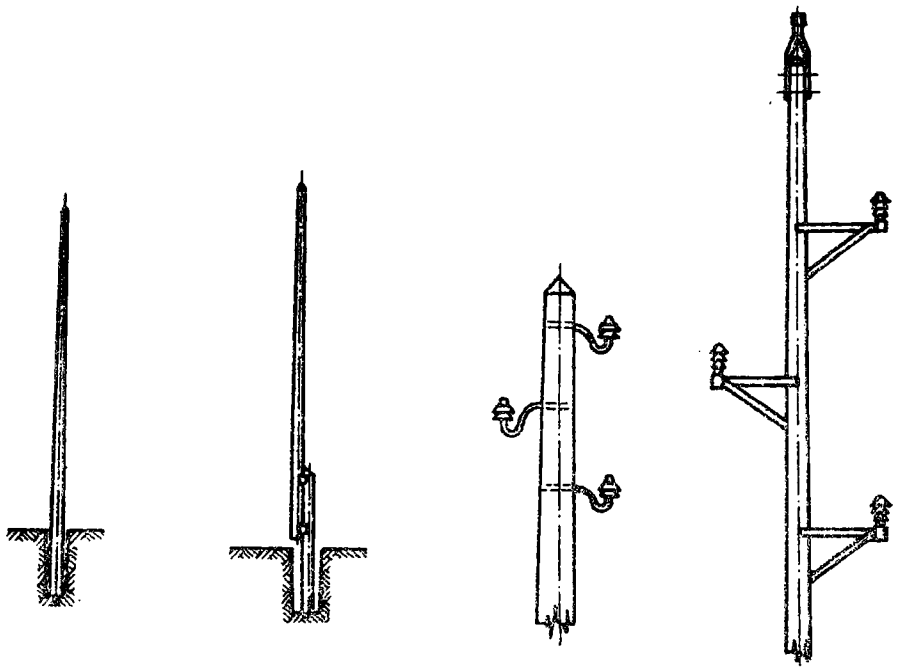


Fig. 2.6. Stîlpi de lemn simpli şi echiparea lor cu izolatoare.

cei de medie tensiune, la care înălţimea necesară depăşeşte lungimea unui stîlp dintr-o singură bucată, sînt plantaţi în pămînt prin adaosuri de lemn sau de beton. Adaosurile permit ca în cazul putrezirii, care de obicei are loc la baza stîlpului, să se înlocuiască numai adaosul, atunci cînd acesta este de lemn.

*Stîlpii delemn speciali*, aşa cum sînt denumiţi stîlpii terminali, de întindere, şi de colţ sînt realizaţi din doi stîlpi simpli îmbinaţi în formă de A (fig. 2.7).

Pe un stîlp se montează un singur circuit trifazat, care la medie tensiune constă din cele trei conductoare active, iar la joasă tensiune se prevede şi al patrulea conductor de întoarcere (nul) pentru consumatorii monofazaţi. Dacă există şi iluminat public se mai montează al cincelea conductor (o fază) pentru acesta.

Se precizează însă că, din punctul de vedere al economiei naţionale, utilizarea pe scară largă a lemnului pentru stîlpi de LEA nu este indicată, deoarece acesta poate fi utilizat cu eficienţă economică mai bună în alte sectoare ale economiei naţionale. Din această cauză se foloseşte din ce în ce mai puţin şi, în general, numai acolo unde nu pot fi folosiţi alţi stîlpi (cei de beton).

**Stîlpii de beton armat.** Aceş ti stîlpi au în ţara noastră o utilizare foarte largă, îndeosebi la construirea l iniilor de joasă şi medie tensiune. Aceasta se datoreşte următoarelor conside rente de ordin tehnico-economic : se economiseşte lemnul şi oţelul laminat (materiale deficitare), au preţ de cost relativ redus, fabricarea lor poate fi industrializată, au durată de existenţă mare şi cheltuieli de întreţinere reduse, rezistenţă mecanică bună etc. Trebuie avute însă în vedere şi următoarele dezavantaje: greutate mare, fragilitate la transport şi manipulare, dificultăţi la folosirea lor în terenuri accidentate etc.

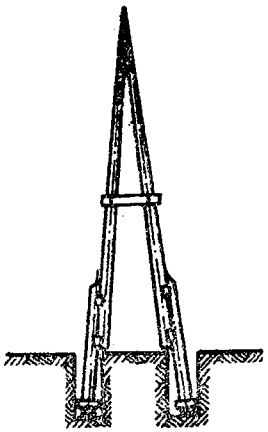


Fig. 2.7. Stilp de lemn în formă de A.

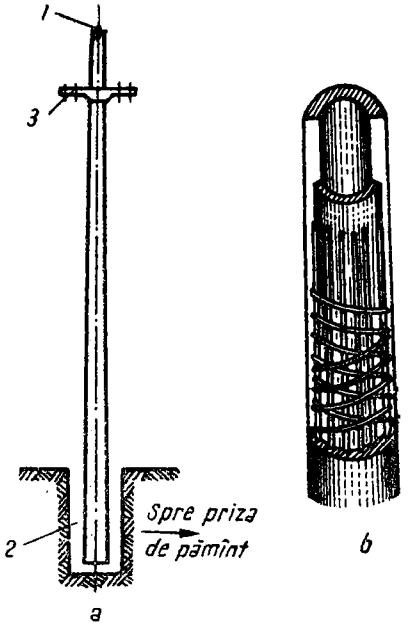



Fig. 2.8. Stilp de beton armat de 6–20 kV :

*a* — de susținere din beton armat precomprimat; *1* — vîrf metalic; *2* — fundație burată; *3* — traversă ; *b* — armătura pretensionată.

Cele două părți componente principale ale acestor stîlpi sînt : betonul și armătura de oțel.

*Betonul* este un conglomerat artificial obținut prin întărirea unui amestec de ciment de rezistență superioară cu nisip de cuarț bine spălat și cu pietriș de carieră sau piatră spartă din roci.

*Armătura de oțel* este formată din oțelul cunoscut sub denumirea de oțel-beton în formă de bare sau sîrmă.

Armăturile folosite pot fi *normale* și pentru acestea se folosesc oțeluri laminate la cald (OL 37, OLX 52) sau pot fi *supuse separat unor solicitări* (pretensionare, precomprimare, posttensionare) în scopul reducerii cantității de oțel consumat și pentru acestea se folosesc oțeluri aliate laminate la cald, oțeluri trase la rece și oțeluri ameliorate prin tratamente termice.

Armătura de oțel a stîlpilor de beton preia eforturile de întindere pe care nu le poate prelua betonul, iar acesta preia numai eforturile de comprimare, la care participă și armătura de oțel.

După procedeul folosit pentru compactarea betonului se deosebesc trei tipuri de stîlpi de beton armat :

— stîlpi de beton armat centrifugat ;
— stîlpi de beton armat vibrat ;
— stîlpi de beton armat precomprimat (centrifugat sau vibrat).

*Stîlpii de beton armat centrifugat* se fabrică prin centrifugare, obținîndu-se astfel repartizarea uniformă a betonului în jurul armăturii în formă de țeavă cilindrică sau tronconică (fig. 2.8).

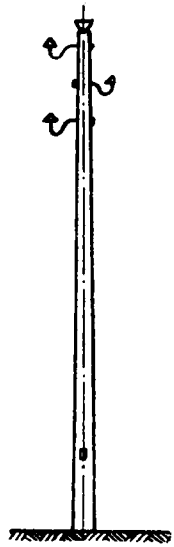


Fig. 2.9. Stîlp de beton armat centrifugat cu izolatoarele fixate pe suporți curbi.

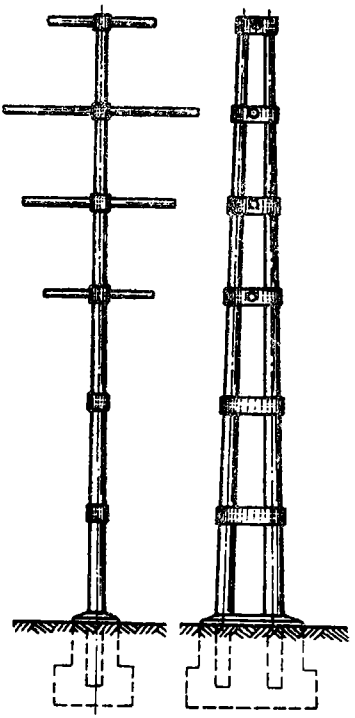


Fig. 2.10. Stîlpi de întindere din beton centrifugat pentru dublu circuit, 35 kV.

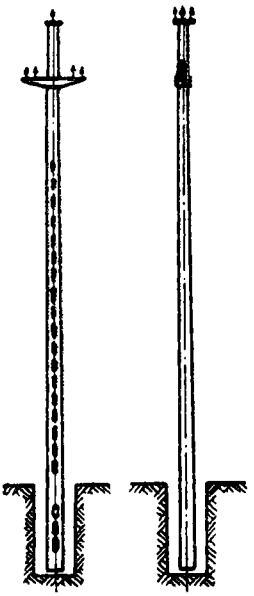


Fig. 2.11. Stîlpi de beton armat vibrat pentru 6–20 kV.

În țara noastră se fabrică astfel de stîlpi pentru simplu și pentru dublu circuit. Pentru liniile pînă la 20 kV inclusiv, stîlpii de susținere se execută dintr-un *singur tronson*, cu izolatoare fixate direct pe stîlp prin suporți curbi (fig. 2.9). Stîlpii de întindere, îndeosebi de 6—20 kV, se realizează din *două tronsoane*, din care cel inferior este cilindric, iar cel superior tronconic. Tronsoanele se asamblează telescopic, cel superior fiind introdus în cel inferior pe o adîncime de 80 cm, rostul umplîndu-se cu mortar prin injectare sub presiune.

Pentru liniile de 35 kV cu simplu circuit se folosesc stîlpi formați dintr-un singur tronson de 17—20 m sau din două tronsoane asamblate telescopic. Stîlpii de întindere și de colț se pot executa din cîte doi stîlpi, solidarizați prin bride (fig. 2.10).

*Stîlpii de beton armat vibrat* au indici tehnico-economici apropiați de ai celor centrifugați și se folosesc atît la liniile de joasă tensiune, cît și la cele de 6—20 kV. În țara noastră se construiesc de lungimi între 12 și 14 m (fig. 2.11).

*Stîlpii de beton armat precomprimat* constituie tipul modern de stîlp de beton armat, oferind avantaje tehnico-economice față de tipul normal. Prin pretensionarea armăturii de oțel se creează posibilitatea ca betonul din stîlp

să fie solicitat numai la compresiune sau întindere limitată. Efortul inițial, produs în armătura pretensionată, se transmite asupra betonului, fie prin plăci metalice montate la capetele stîlpilor, fie prin frecarea dintre armături și beton, fie prin combinarea ambelor efecte.

Avantajul principal al utilizării acestor stîlpi îl constituie economia importantă de oțel-beton, care se reduce de mai mult de două ori, în funcție de caracteristicile oțelului folosit.

Stîlpii de beton armat precomprimat se pot realiza atît prin *centrifugare*, cît și prin *vibrare* și se pot utiliza, îndeosebi, la construcția liniilor de joasă și medie tensiune.

## D. ARMĂTURI ȘI CLEME

Elementele mecanice prin care se realizează prinderea izolatoarelor de stîlpi sau de consolele acestora se numesc *armături*, iar cele prin care se fixează conductoarele de izolatoare sau prin care se realizează înnădirea conductoarelor în intervalul dintre stîlpi se numesc *cleme*.

Armăturile pentru liniile de joasă și medie tensiune sînt formate din piese de oțel rotund denumite *suporți*, care sînt de două feluri : curbi și drepți (fig. 2.12).

*Suporții curbi* sînt folosiți atît la joasă tensiune, cît și la 6—20 kV pe stîlpi simpli de lemn sau de beton armat, executîndu-se în variantele de fixare cu piuliță sau prin înșurubare.

*Suporții drepți* sînt folosiți pentru fixarea izolatoarelor suport pe consolele metalice ale stîlpilor.

Fixarea izolatoarelor suport pe tija metalică a suporților curbi sau drepți se realizează prin intermediul unui strat de protecție, constituit fie dintr-un bandaj de cînepă înmuiat într-o soluție de miniu de plumb, fie dintr-un înveliș de preșpan.

**Armături pentru fixarea conductoarelor pe izolatoare suport.** *Armături pentru stîlpii de susținere.* La stîlpii de susținere conductoarele se fixează de izolatoare cu legături normale sau în zonele locuite și în alte locuri unde este necesar cu legături de siguranță.

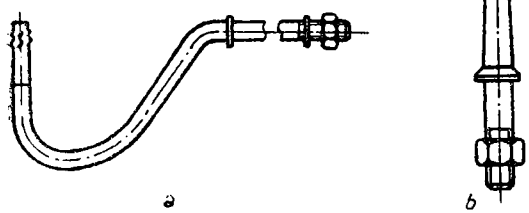



Fig. 2.12. Suporți : *a* — curb ; *b* — drept.

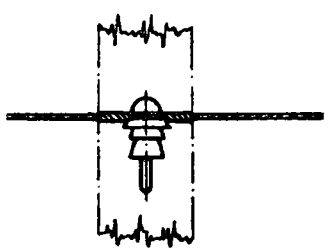


Fig. 2.13. Legătura normală a conductorului la izolatoare suport.

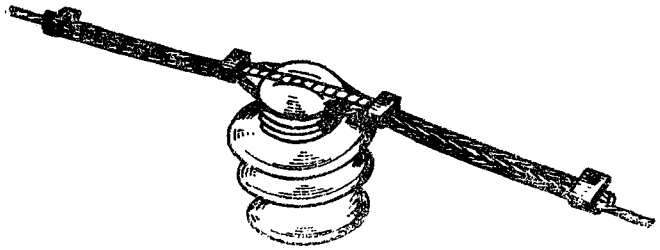


Fig. 2.14. Legătura normală a conductorului la izolatoare suport cu fixare superioară.

În cazul legăturii normale, conductorul este fixat în partea dinspre stîlp, pe gîtul izolator (fig. 2.13). La izolatoarele suport de tip special (fig. 2.14) conductorul este așezat în locașul realizat pentru acesta pe capul izolatorului.

Fixarea conductorului de izolator se face fie cu sîrmă, fie cu bridă. Fixarea conductorului cu o legătură de sîrmă trecută atît în jurul izolatorului, cît și în jurul conductorului se folosește la liniile de distribuție locale și la cele de importanță redusă. Aceste legături pot fi:

— simple, cu terminații pe izolator (fig. 2.15, *a*);
— simple, în cruce (fig. 2.15, *b*);
— duble, în cruce (fig. 2.15, *c*).

Conductoarele de aluminiu se protejează în locurile unde se execută legătura de prindere printr-un bandaj realizat cu o bandă lată de aluminiu.

Legătura simplă în cruce se folosește la linii de distribuție cu deschideri sub 50 m și conductoare cu secțiuni sub 70 mm², în zone nelocuite, iar legătura dublă în cruce la liniile mai importante.

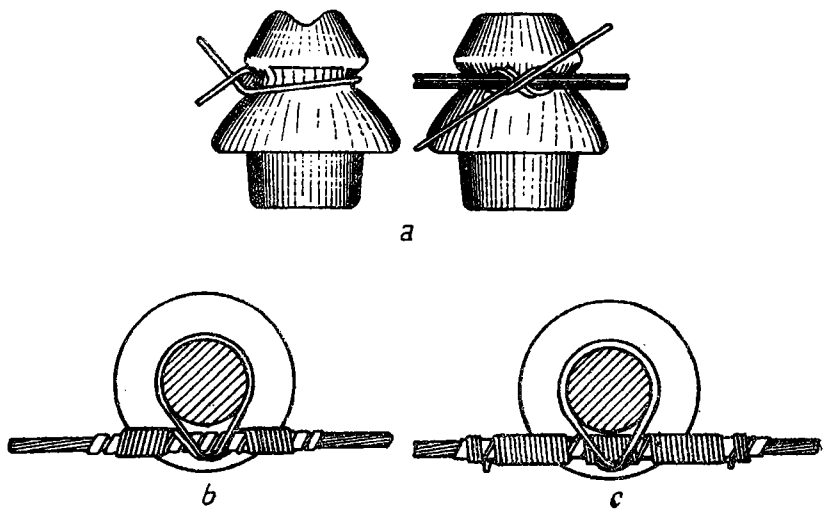



Fig. 2.15. Tipuri de fixare a conductorului de izolatoarele suport ale stîlpilor de susținere:
*a* — legătură simplă cu terminații pe izolator; *b* — legătură simplă în cruce; *c* — legătură dublă în cruce.

Legătura de siguranță pe stîlpii de susținere se poate realiza fie pe același izolator (fig. 2.16), fie cu un izolator suplimentar (fig. 2.17). În cazul legăturii de siguranță cu un singur izolator, conductorul liniei se trece pe partea opusă stîlpului, iar legătura de siguranță prin interior. Conductorul de siguranță se prinde de cel al liniei cu două cleme de legătură electrică și mecanică. Legătura de siguranță realizată cu ajutorul unui izolator suplimentar poate fi executată cu izolatoare pe o singură consolă la liniile de 35 kV (fig. 2.17, *a*), sau cu izolatoare suprapuse — la liniile cu suporți curbi (fig. 2.17, *b*).

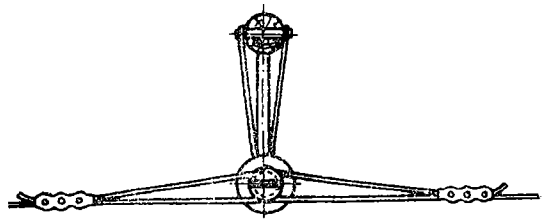
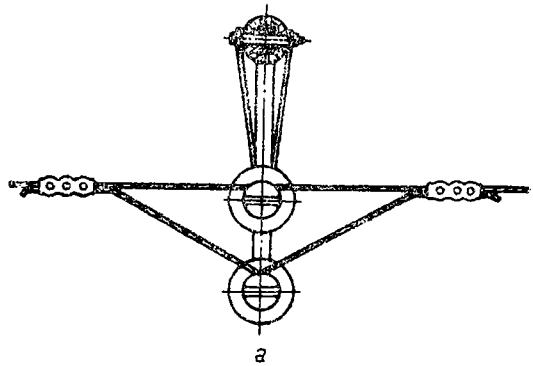
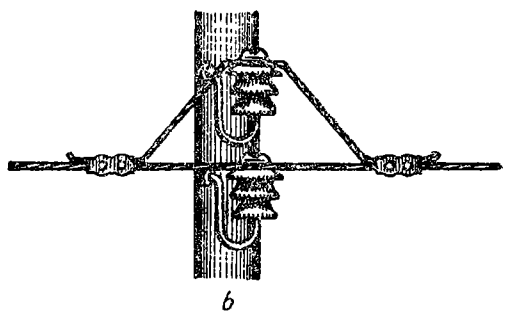


Fig. 2.16. Legătură de siguranță la stîlpii de susținere cu un singur izolator.



*a*



*b*

Fig. 2.17. Legătură de siguranță la stîlpii de susținere cu două izolatoare :
*a* — într-un singur plan ; *b* — în planuri suprapuse.

În funcționarea normală conductorul de siguranță nu trebuie să preia tracțiunea conductorului liniei.

*Armături pentru stîlpi de întindere.* La stîlpii de întindere conductoarele se fixează de asemenea cu legături normale sau, acolo unde este necesar, cu legături de siguranță. La legătura normală conductorul se prinde de gîtul izolatorului printr-un ochi format din funia conductorului și se fixează fie cu un bandaj de sîrmă (fig. 2.18, *a*), fie cu o clemă (fig. 2.18, *b*). Legătura electrică pe aceeași fază se realizează unindu-se cele două capete libere cu o clemă de legătură electrică (fig. 2.19).

Legătura de siguranță la stîlpii de întindere sau terminali se realizează cu ajutorul unui izolator suplimentar (fig. 2.20).

Legăturile normale la stîlpii de colț simpli se execută ca și la stîlpii de susținere, conductorul fiind așezat pe izolator în interiorul unghiului de colț.

**Cleme de legătură mecanică și electrică.** Rolul acestora este de a face legătura a două capete ale conductoarelor în deschiderile dintre stîlpi. Clemele de legătură trebuie să prezinte suficientă siguranță din punct de vedere electric și mecanic. Un contact electric executat defectuos conduce la încălzirea

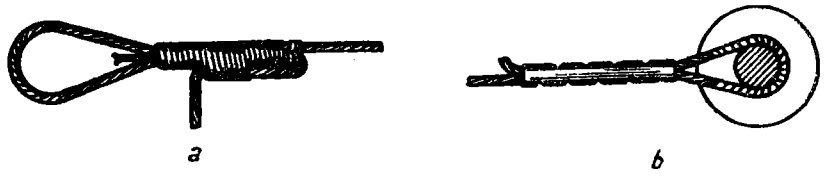



Fig. 2.18. Fixarea conductorului la izolatoarele suport ale stîlpilor de întindere :
*a* — cu bandaj de sîrmă ; *b* — cu clemă.

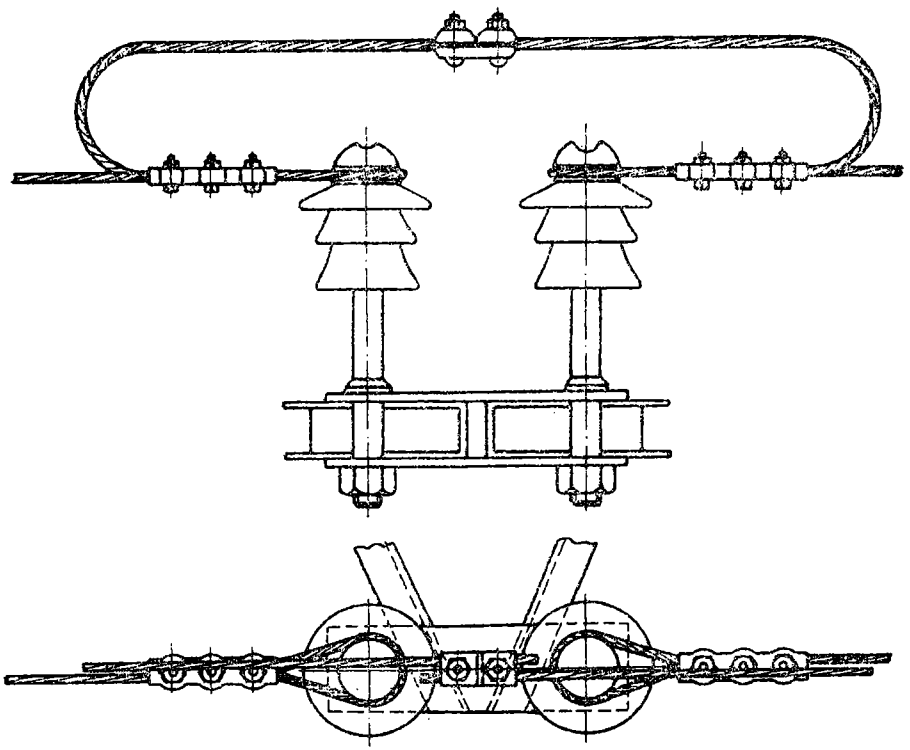


Fig. 2.19. Legătură normală la stîlpii de întindere echipați cu izolatoare suport.

inadmisibilă a clemei și a conductorului în clemă, provocînd în cele din urmă ruperea acestuia.

Clemele de legătură mecanică și electrică sînt de două feluri :

— *clemele de legătură cu șuruburi sau nituri,* care reţin conductorul datorită frecării dintre acesta și niturile sau șuruburile piesei. Se folosesc pentru conductoare de aluminiu pînă la 240 $m^2$ și de oţel pînă la 120 $mm^2$ și se realizează *dintr-o singură bucată* (fig. 2.21) sau *din două bucăți* ;

— *cleme de legătură prin presare,* care se folosesc practic pentru toate conductoarele și sînt pentru liniile de joasă și medie tensiune de două tipuri : *cu crestături normale* (fig. 2.22, *a*) și *cu crestături elicoidale* (fig. 2.22, *b*).

Pentru conductoarele de aluminiu se folosesc cleme de aluminiu.

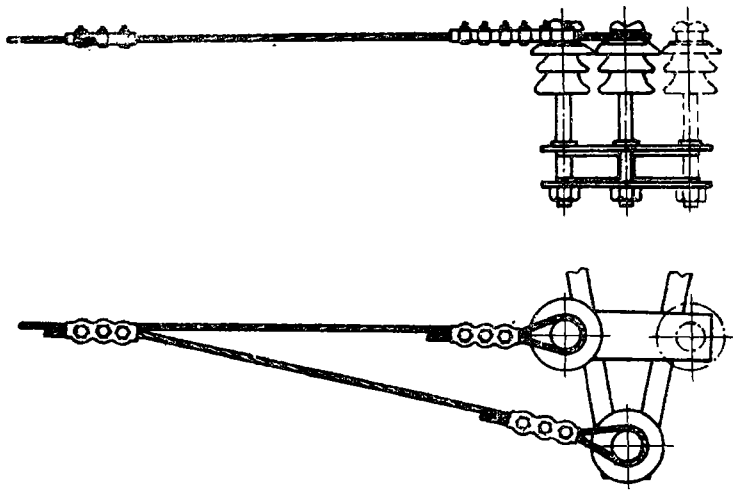


Fig. 2.20. Legătură de siguranță la stîlpii de întindere echipați cu izolatoare suport.

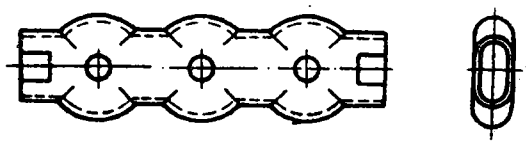


Fig. 2.21. Clemă cu șuruburi sau nituri.

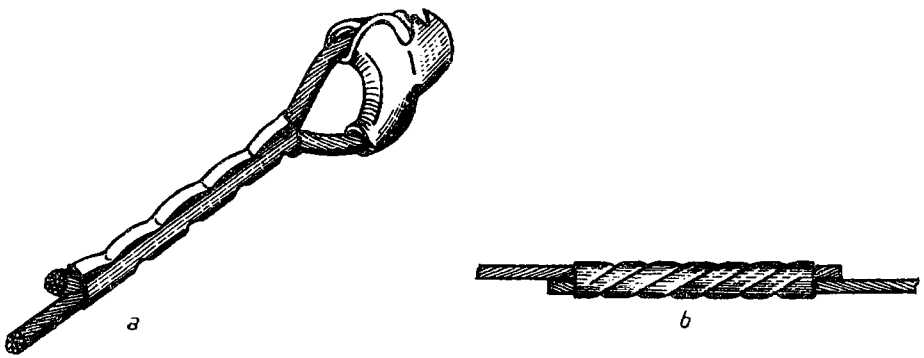



Fig. 2.22. Cleme cu crestături :
*a* — normale; *b* — elicoidale.

Clemele cu crestături elicoidale se execută fie dintr-un tub cu secțiune ovală în care pătrund cele două conductoare, fie din două tuburi sudate între ele, în fiecare fiind introdus cîte un conductor.

După introducerea conductoarelor în cleme, aceasta se torsionează peste cele două conductoare în crestături longitudinale cu ajutorul unor clești speciali.

## E. PLANTAREA STÎLPILOR

Plantarea sau fixarea în pămînt a stîlpilor LEA de joasă şi medie tensiune se face diferit după tipul de stîlp (de lemn sau de beton armat).

*Plantarea stîlpilor de lemn* se face fie direct, fie prin intermediul unor adaosuri de lemn sau de beton armat.

Stîlpii simpli de lemn, folosiţi drept stîlpi de susţinere, se pot planta direct în pămînt, cu sau fără adăugarea unor rigle transversale care să mărească rezistenţa la răsturnare (fig. 2.23, *a*, *b*). Stabilitatea fundaţiei se poate mări

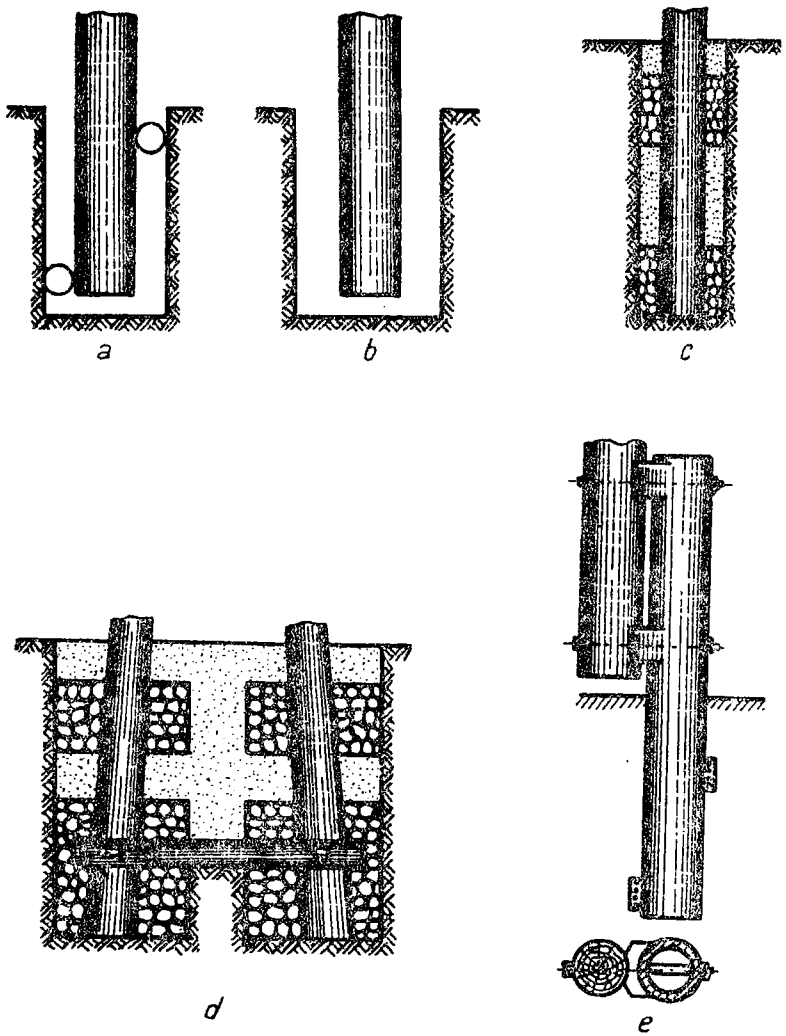



Fig. 2.23. Plantarea stîlpilor de lemn :
*a* — cu rigle transversale ; *b* — fără rigle transversale ; *c* — cu buraj de piatră ; *d* — cu buraj şi rigle transversale ; *e* — cu suport de beton.

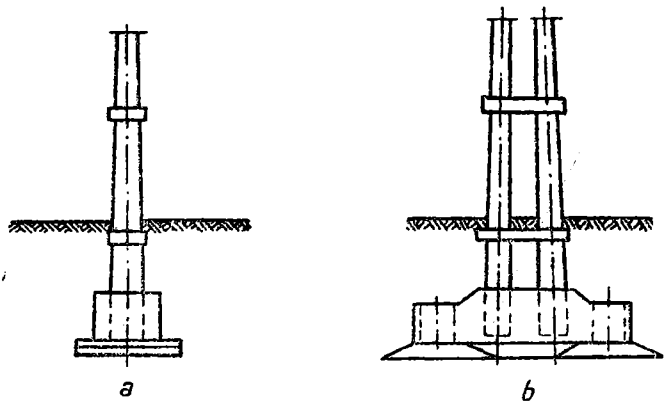



Fig. 2.24. Fundații pentru stîlpi de beton armat :
*a* — stîlp simplu ; *b* — stîlp dublu.

prin buraje de piatră (fig. 2.23, *c*), sau pentru stîlpii de tip A, prin rigle transversale (fig. 2.23, *d*).

Întrucît stîlpii de lemn plantați direct în pămînt sau prin adaosuri de lemn sînt expuși la putrezire în zona de intrare în pămînt, în unele cazuri, cînd sînt necesare adaosuri, în locul celor de lemn, se folosesc doi cleşti de beton armat între care se fixează stîlpul de lemn. Cleştii sînt asamblați între ei la bază şi prinşi într-o placă de reazem sau fiecare stîlp este fixat de un singur suport de beton (fig. 2.23, *e*).

*Plantarea stîlpilor de beton.* Fundațiile pentru stîlpii de beton sînt realizate tot din beton fie turnat la fiecare stîlp în parte (fig. 2.24, *a*), fie sub forma fundațiilor prefabricate din plăci şi socluri în care pătrund stîlpii de beton armat (fig. 2.24, *b*).

Capitolul 3

# LINII ELECTRICE AERIENE DE ÎNALTĂ ŞI FOARTE ÎNALTĂ TENSIUNE

Liniile electrice aeriene de înaltă tensiune sînt cele construite pentru tensiuni nominale între 60 şi 154 kV inclusiv. În ţara noastră s-au construit cîteva linii de 60 kV şi în cea mai mare parte linii de 110 kV, iar în prezent înalta tensiune o constituie practic numai aceasta din urmă. Liniile de foarte înaltă tensiune construite în ţara noastră au tensiunile nominale de 220 şi 400 kV.

## A. ELEMENTE COMPONENTE

### 1. Conductoare

La liniile electrice aeriene de înaltă şi foarte înaltă tensiune se folosesc, în general, conductoare active funie realizate din două materiale şi anume din oţel şi din aluminiu.

Firele de oţel care formează inima conductorului de OlAl preiau eforturile mecanice, iar cele de aluminiu formînd straturile suprapuse exterioare transmit curentul electric, ele avînd o rezistivitate mult mai mică.

Firele de oţel sînt zincate la cald şi pot avea diametre egale cu cele de aluminiu sau diferite, după necesităţile de ordin constructiv.

Pentru anumite porţiuni ale LEA de înaltă şi foarte înaltă tensiune şi îndeosebi la traversări de rîuri largi şi fluvii, unde sînt necesare conductoare cu rezistenţă mecanică mai mare, se pot folosi aliaje ale aluminiului cunoscute sub denumirea de aldrey şi almelec. O utilizare mai largă o au conductoarele funie de bronz (aliaj din cupru şi cositor) care au caracteristici electrice şi mecanice bune.

Pentru LEA cu tensiuni de 400 kV şi mai mult se montează două sau mai multe conductoare funie de OlAl pe fiecare fază, formînd conductoare fasciculare sau jumelate, pentru a se reduce pierderile datorită efectului corona.

Liniile de înaltă şi foarte înaltă tensiune mai sînt prevăzute şi cu conductoare de protecţie împotriva descărcărilor atmosferice. Aceste conductoare pot fi din oţel zincat—funie sau din oţel-aluminiu.

## 2. Izolatoarele liniilor electrice aeriene de înaltă şi foarte înaltă tensiune

Şi la aceste linii se folosesc izolatoare de porţelan şi de sticlă călită. Tipurile de izolatoare folosite sînt denumite de *suspensie*, cu care se pot forma lanţuri de izolatoare, care se suspendă la un capăt de consola stîlpului, iar la celălalt capăt se fixează conductoarele active.

Aceste izolatoare se clasifică în următoarele categorii: izolatoarele cu capă sau cu un singur taler, izolatoarele cu două talere sau cu inima plină şi izolatoarele-tijă. În ţara noastră se fabrică izolatoarele cu capă.

*Izolatorul de suspensie cu capă* (fig. 3.1) are ca părţi componente: corpul izolatorului, capa, tija, piesa pentru fixarea tijei şi siguranţa pentru nucă. Partea din corpul izolatorului de porţelan neacoperită de capă se acoperă cu o glazură albă sau colorată. Capa se fixează cu chit special sau cu plumb. În locaşul de la partea superioară a capei (nuca) se fixează capătul tijei altui element de izolator cu siguranţe.

Izolatoarele cu capă fac parte din izolatoarele străpungibile datorită peretelui subţire dintre tijă şi capă.

În ţara noastră se fabrică izolatoarele cu capă: IC 4 şi IC 6.

Aceste izolatoare se folosesc sub formă de lanţuri de susţinere sau de întindere, după tipul stîlpului, realizate din: 7—8 izolatoare la 110 kV, 12—13 la 220 kV şi 22—23 la 400 kV.

Se pot utiliza: un singur lanţ de izolatoare, două sau trei lanţuri în paralel, în funcţie fie de sarcina pe care o au de suportat, fie pentru realizarea unei siguranţe mărite, dacă linia trece prin localităţi sau prin alte zone importante.

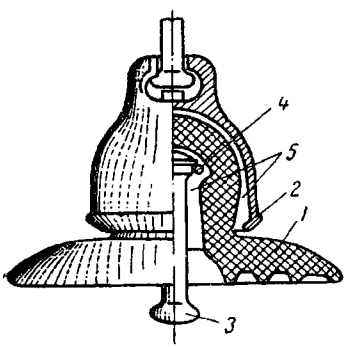



Fig. 3.1. Izolator de suspensie cu capă:
1 — corpul izolatorului; 2 — capa; 3 — tijă; 4 — piese pentru fixarea tijei; 5 — chit pentru izolatoare.

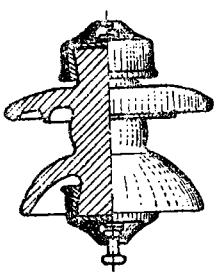


Fig. 3.2. Izolator de suspensie cu inimă plină.

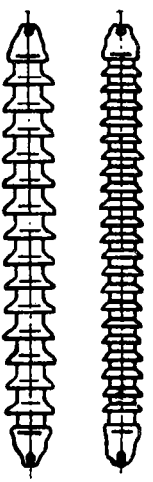



Fig. 3.3. Izolatoare tip tijă:
*a* — de construcţie normală; *b* — cu mantale apropiate pentru regiuni cu ceaţă.

Izolatoarele de sticlă cu capă au avantajul că la spargere talerul de sticlă se sfărîmă și cade imediat jos, fără ca lanțul să se desfacă iar defectul se poate observa ușor.

*Izolatorul de suspensie cu inimă plină* (fig. 3.2) are un corp cilindric de porțelan, cu două talere și două armături de fontă fixate la extremități. Aceste izolatoare sînt nestrăpungibile deoarece au masă izolantă mare între cele două armături. La formarea lanțului numărul lor este jumătate față de cel al izolatoarelor cu capă.

*Izolatorul-tijă* (fig. 3.3) este format dintr-un corp de porțelan cu mai multe talere și cu două armături metalice la capete. De obicei, o tijă poate constitui izolația unei faze la 110 kV, două tije în serie la 220 kV și trei tije la 400 kV.

Izolatorul-tijă este nestrăpungibil și se fabrică cu linie de fugă normală sau mărită pentru regiuni poluate.

## 3. Armături și cleme pentru liniile electrice aeriene de înaltă și foarte înaltă tensiune

Formele lor sînt diferite după scopul în care sînt folosite și sînt fabricate din oțel forjat (cele care sînt supuse la eforturi mari) sau din fontă turnată (cele cu forme mai complicate), fiind protejate prin zincare la cald.

**Armături pentru lanțurile de izolatoare.** Aceste armături se clasifică în următoarele categorii :

— *armături pentru formarea lanțurilor de izolatoare,* care se folosesc la realizarea lanțurilor de izolatoare și la fixarea acestora de stîlpi. Acestea sînt siguranțele de formă specială (fig. 3.4, *a*) din nuca fiecărui izolator și tija cu două capete pentru izolatoarele cu nuci la ambele capete (fig. 3.4, *b*) ;

— *cîrlige pentru suspendarea lanțurilor de izolatoare de consolele stîlpilor* (fig. 3.5), care au diferite forme : cîrligul U pentru fixarea lanțurilor de susținere la console, cîrligul S pentru fixarea lanțurilor de întindere, cîrligul B pentru eforturi mari, cîrligul O pentru fixarea lanțurilor de susținere la consolele de beton și cîrligele DA sau DS care împiedică lanțul de izolatoare în timpul oscilațiilor să se apropie de stîlp ;

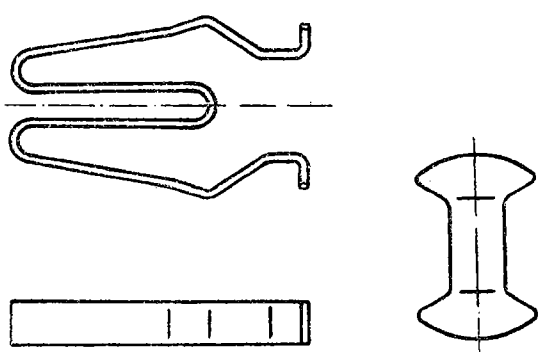



Fig. 3.4. Armături pentru formarea lanțurilor de izolatoare :
a — piesă flexibilă de siguranță ; b — tijă cu două capete.

— *ochiurile de suspensie, simple sau duble* (fig. 3.6). Cele simple se folosesc la prinderea lanțului de izolatoare de cîrligul consolei, de jugul superior sau de cel inferior, iar cele duble la prinderea jugului superior de consolă și a celui inferior de clema în care este fixat conductorul. Dacă lanțurile de izolatoare sînt prevăzute cu armături de protecție ochiurile de suspensie au o gaură pentru fixarea acestor armături ;

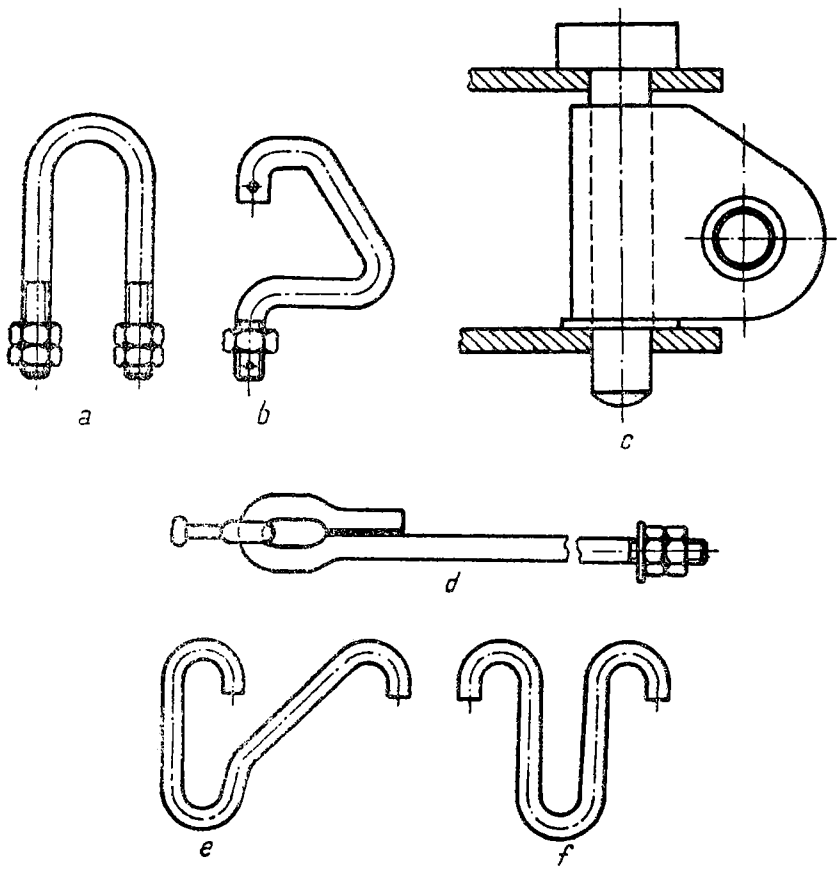



Fig. 3.5. Cîrlige pentru suspendarea lanțurilor de izolatoare :
*a* – format U ; *b* – format S ; *c* – format B ; *d* – format O ; *e* – format DA ; *f* – format DS, ambele pentru suspendarea și distanțarea lanțurilor.

— *nucile cu ochi, drept sau răsucit* (fig. 3.7), care servesc la prinderea lanțurilor de izolatoare de juguri și de clemele de susținere sau întindere ;

— *jugurile* (fig. 3.8), care se folosesc în cazul lanțurilor de izolatoare duble pentru menținerea distanței și a repartiției uniforme a sarcinii pe fiecare lanț.

**Armături pentru fixarea conductoarelor de izolatoare.** Fixarea conductoarelor la lanțurile de izolatoare ale stîlpilor de susținere se face cu ajutorul clemelor de oțel sau fontă zincate ; pentru conductoarele de aluminiu, părțile de contact direct se fac din aluminiu sau din aliaje ale acestuia.

*Clemele de susținere.* La stîlpii de susținere se folosesc cleme de susținere care suportă numai greutatea conductorului și a suprasarcinii (chiciură, zăpadă, vînt). Clemele de susținere sînt de mai multe feluri :

— *cleme de susținere fixe*, care au o utilizare foarte redusă datorită dezavantajelor pe care le prezintă strîngerea conductoarelor ;

— *clemele de susținere oscilante fără declanșare* (fig. 3.9, *a*), care se fabrică în țara noastră, au patul *2* care se rotește în jurul bolțului *5*. Aceste cleme se folosesc în zone locuite și la traversări de drumuri importante ;

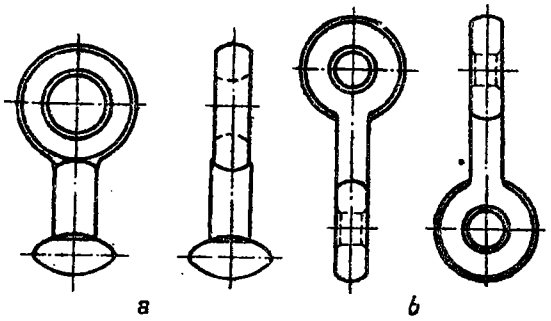



Fig. 3.6. Ochiuri de suspensie :
*a* – simplu ; *b* – dublu ; *c* – drept ; *d* – răsucit.

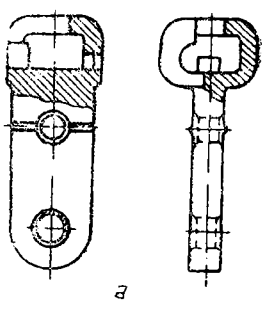



Fig. 3.7. Nuci cu ochi :
*a* – cu ochi drept; *b* – cu ochi răsucit.

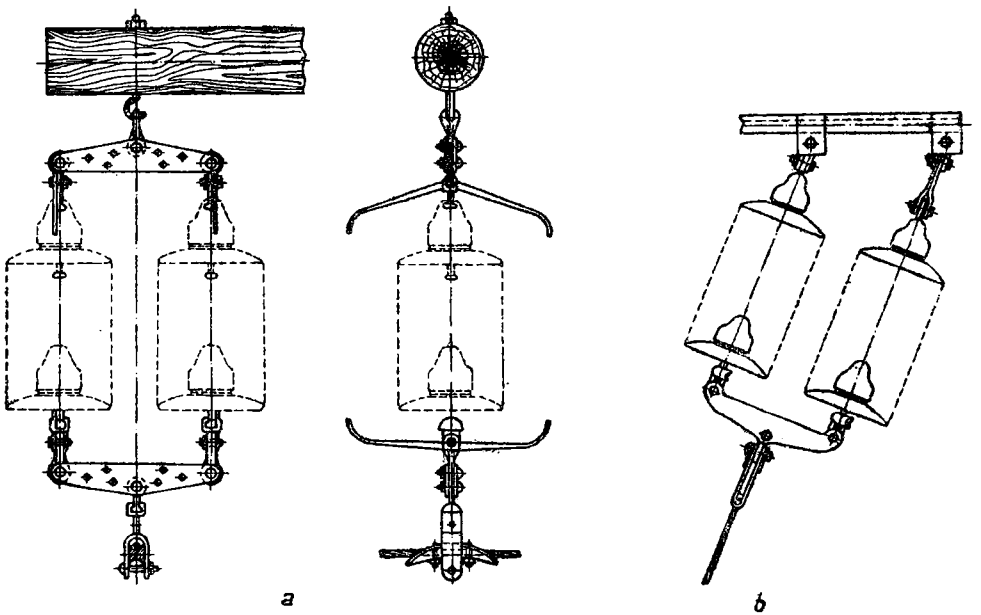



Fig. 3.8. Lanț dublu de izolatoare :
*a* – de susținere ; *b* – de colț.

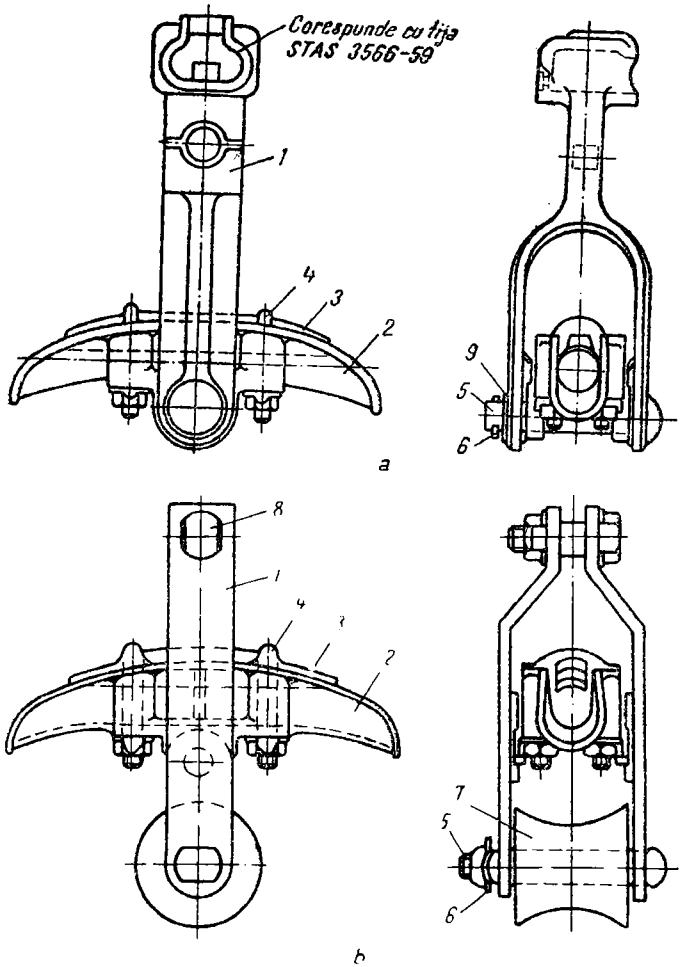



Fig. 3.9. Cleme de susținere oscilante :
*a* — fără declanșare ; *b* — cu declanșare și rolă de alunecare ; *1* — suportul clemei ; *2* — patul clemei ; *3* — piesa de strîngere ; *4* — bride ; *5* — bolț cu cap semirotund ; *6* — cui spintecat ; *7* — rola de alunecare ; *8* — șurub special cu piuliță și siguranță ; *9* — rondelă.

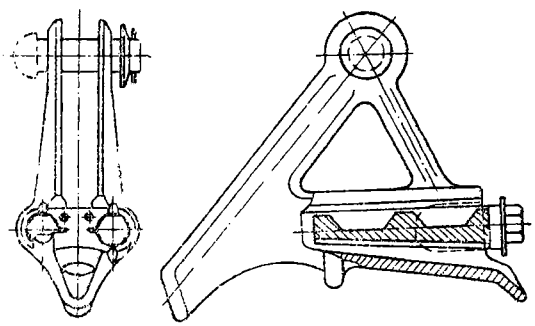


Fig. 3.10. Clemă de întindere cu pană.

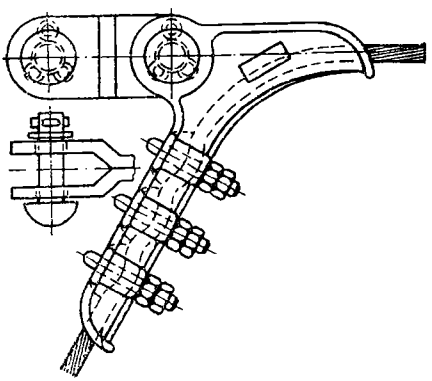


Fig. 3.11. Clemă de întindere cu bridă.

— *clemele de susținere oscilante cu declanșare și rolă de alunecare* (fig. 3.9, *b*) permit reducerea efortului care acționează asupra stîlpului în cazul ruperii unui conductor prin faptul că la înclinarea lanțului de izolatoare cu 40—50° de-a lungul liniei clema declanșează, conductorul cade pe rolă și alunecă. Aceste cleme nu se folosesc în zone accidentate, la traversări de linii electrice, drumuri etc.

*Cleme de întindere.* Fixarea conductoarelor la lanțurile de izolatoare de întindere, folosite la stîlpii de întindere, terminali și de colț se face cu ajutorul clemelor de întindere care, în afară de greutatea conductoarelor și a suprasarcinii, mai preiau și eforturile de tracțiune din conductoare.

Clemele de întindere sînt de mai multe feluri:

— *cleme de întindere cu pană pentru fixarea conductorului* (fig. 3.10), folosite pentru secțiuni de conductor pînă la 185 mm². Ele au un canal lateral, prin care se introduce conductorul fără să fie întrerupt;

— *cleme de întindere cu bridă pentru fixarea conductorului* (fig. 3.11). Au același domeniu de utilizare ca și cele cu pană;

— *cleme de întindere cu con pentru fixarea conductorului* (fig. 3.12). Conul de aluminiu care are suprafața interioară cilindrică, filetată este tăiat în lung pe o anumită porțiune și introdus în piesa conică de fixare. Se pot folosi pentru secțiuni de 50—400 mm²;

— *cleme de întindere prin presare* (fig. 3.13) folosite pentru conductoare de oțel-aluminiu cu secțiuni mari. Pentru aplicare, se descoperă întîi inima de oțel a conductorului pe o porțiune de circa 25 cm, laminîndu-se peste această porțiune o piesă de oțel. Peste această piesă se introduce o dulie de aluminiu *1* și apoi tot ansamblul se introduce în clema propriu-zisă *2* care se lamineză peste conductorul de aluminiu.

**Armături pentru fixarea conductoarelor de protecție.** Fixarea pe stîlpi a conductoarelor de protecție se face cu cleme speciale, cu care se realizează o legătură rigidă sau oscilantă. Clemele folosite în acest scop sînt de tipul cu două capace pentru stîlpii de susținere (fig. 3.14, *a*) și cu patru capace pentru stîlpii de întindere (fig. 3.14, *b*).

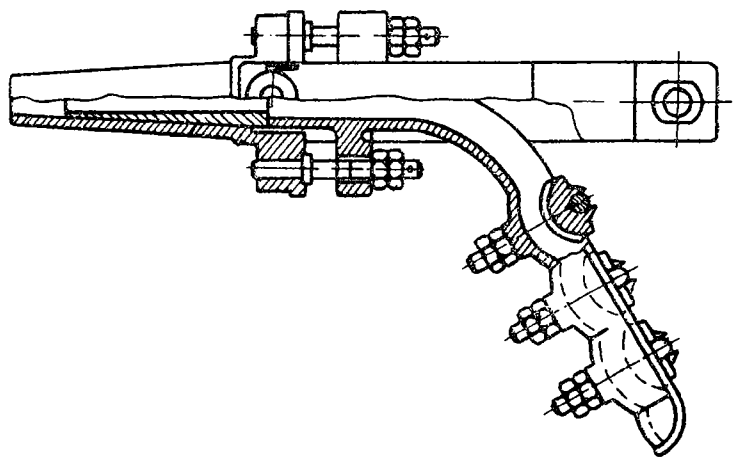


Fig. 3.12. Clemă de întindere cu con.

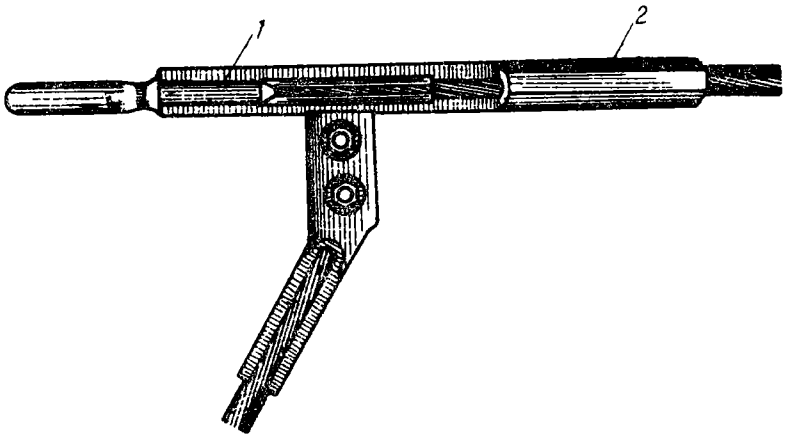



Fig. 3.13. Clemă de întindere prin presare.

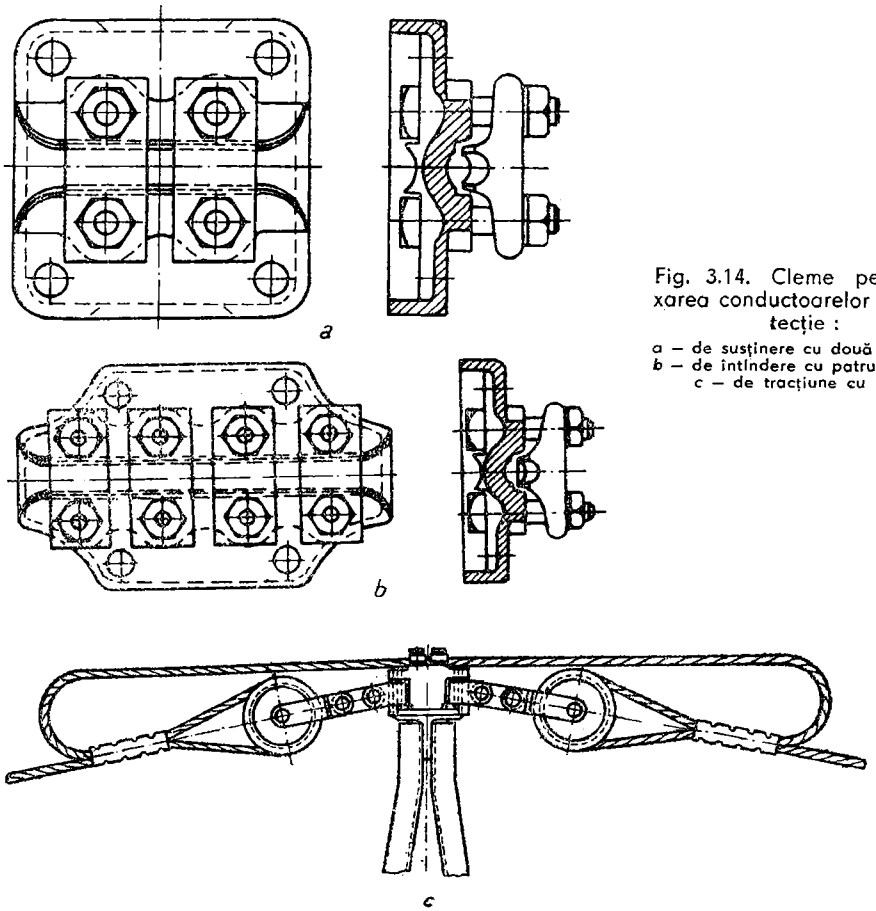



Fig. 3.14. Cleme pentru fixarea conductoarelor de protecție :

*a* — de susținere cu două capace ;
*b* — de întindere cu patru capace ;
*c* — de tracțiune cu role.

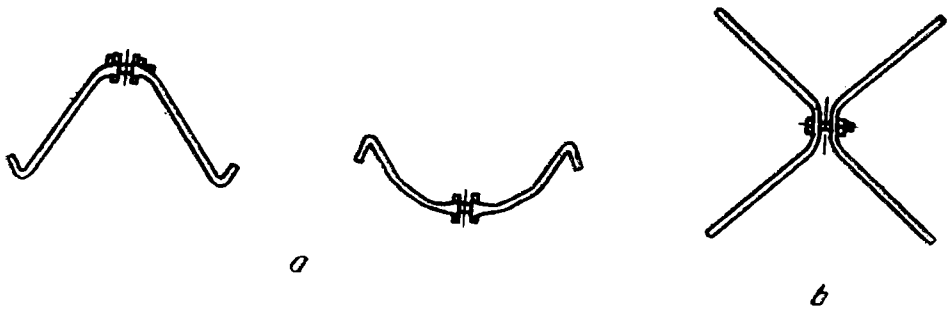



Fig. 3.15. Armături de protecție.

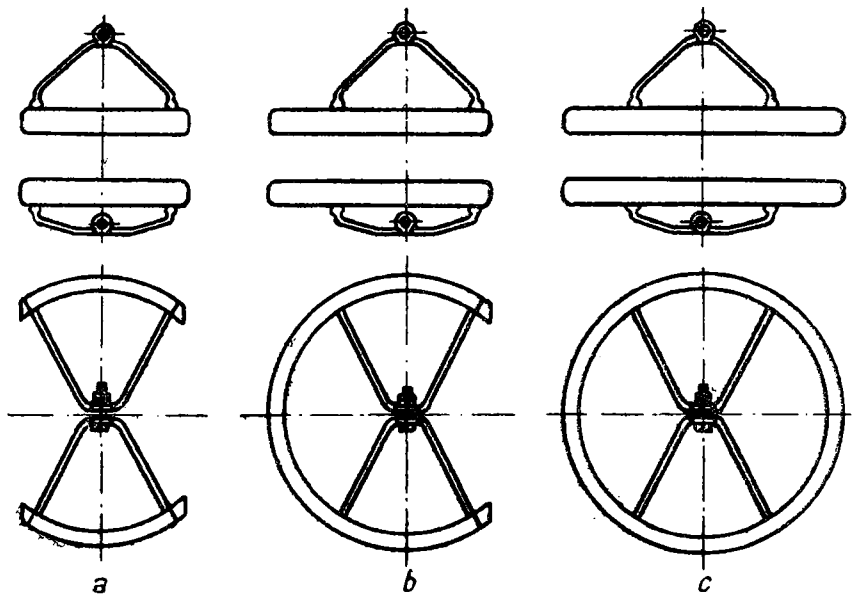



Fig. 3.16. Inele de protecție :
*a* — jumătate (1/2) ; *b* — trei sferturi (3/4) ; *c* — închise.

Pentru conductoare de secțiuni mai mari, la stîlpii de colț și întindere se folosesc cleme de tipul cu pană sau cu role (fig. 3.14, *c*).

**Armături pentru protecția izolatoarelor contra arcului electric.** Aceste armături protejează lanțurile de izolatoare împotriva deteriorărilor prin solicitările termice, depărtînd de la suprafața izolatorului arcul electric care poate apărea între conductorul sub tensiune și consola stîlpului. Armăturile de protecție a izolatoarelor se realizează, în general, în formă de coarne (fig. 3.15, *a*) sau de cruce (fig. 3.15, *b*) folosite la LEA 110 kV, și în formă de inele incomplete sau complete (fig. 3.16) la LEA 220 și 400 kV.

**Armături antivibratoare.** Vibrațiile sînt oscilații ale conductoarelor liniilor aeriene provocate de vînt care au ca efect obosirea materialului conductoarelor și ruperea firelor acestora, contribuind la deteriorarea izolatoarelor, la ruperea armăturilor, uneori afectînd chiar și stîlpii.

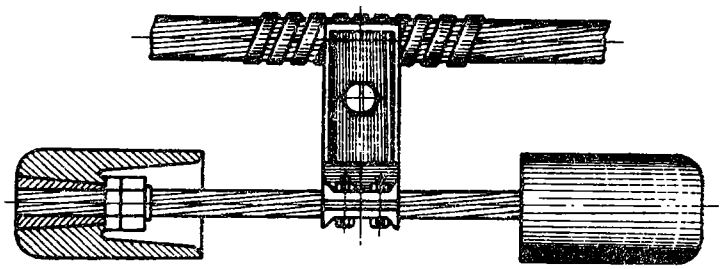


Fig. 3.17. Amortizor Stockbridge.

Protecția conductoarelor contra vibrațiilor se realizează prin mijloace active și mijloace pasive. Un mijloc activ este amortizorul cu greutăți (fig. 3.17) format dintr-un cablu de oțel flexibil cu două greutăți de fontă în formă de pahare la capete. Mijlocul cablului se fixează de conductor cu o clemă, la o anumită distanță de clema de fixare de izolator. Se montează cîte unul în deschiderile normale sau cîte două în deschiderile mai mari (la fiecare capăt). În țara noastră se folosesc la liniile de 220 și 400 kV.

Alte măsuri pentru atenuarea vibrațiilor constau în : reducerea tracțiunii în conductor, ceea ce implică înălțimi mari pentru stîlpi scumpind linia ; armarea conductorului în clema de fixare la lanțul de izolatoare cu ajutorul unei vergele ; prevederea pe o anumită lungime în jurul conductorului a unei spirale antivibratoare.

**Cleme de legătură ale conductoarelor.** Aceste cleme, care au practic același rol ca și cele folosite la LEA de joasă și medie tensiune, sînt în principal aceleași și pentru LEA de înaltă și foarte înaltă tensiune.

**Piese de distanțare pentru conductoarele fasciculare.** Aceste piese, cunoscute sub numele de *distanțoare*, se folosesc la menținerea distanței stabilite între conductoarele aceleiași faze în cazul conductoarelor fasciculare (jumelate) la tensiuni de 220 kV și mai mult. Ele se realizează din două sau mai multe cleme fixate pe conductoare și legate între ele printr-un element elastic sau rigid. Tipurile de distanțoare mai folosite sînt :

— *distanțoarele cu rotație liberă* (fig. 3.18, *a*) ale căror cleme de legătură permit rotirea liberă a conductoarelor, dar translația longitudinală este limitată. Legătura dintre cleme este realizată printr-un conductor de oțel-aluminiu de 150 mm² ;

— *distanțoarele cu tija rigidă* (fig. 3.18, *b*), construită din material ușor, ale căror cleme permit o deplasare limitată a conductoarelor. Aceste distanțoare se folosesc și pentru un fascicul de patru conductoare (fig. 3.18, *c*).

Distanțoarele se fixează la distanța de 20—30 m față de stîlpi și la intervale de 30—60 m între ele în deschidere.

## 4. Stîlpii liniilor electrice aeriene de înaltă și foarte înaltă tensiune

Stîlpii liniilor aeriene de înaltă tensiune, de 110 kV, se realizează atît din *beton armat centrifugat sau vibrat*, cît și din *profile metalice*, iar cei pentru 220 și 400 kV, practic, în toate cazurile, sînt stîlpi metalici.

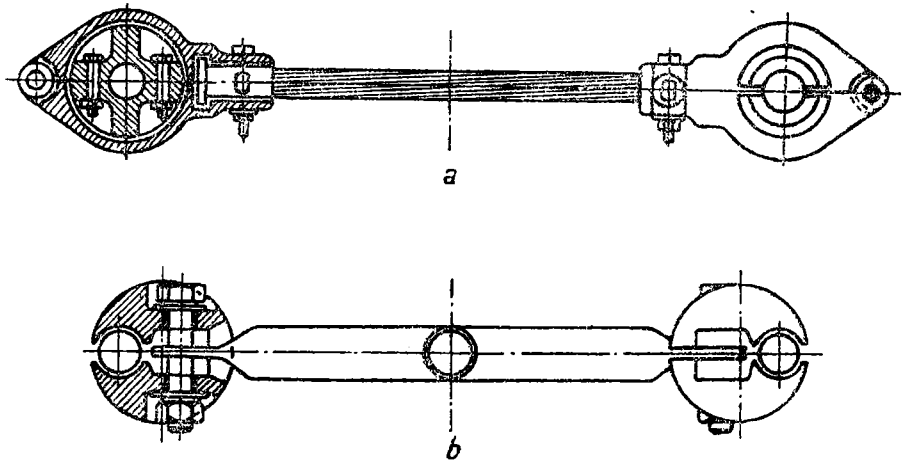


Fig. 3.18. Distanțoare pentru conductoare fasciculare :
*a* — cu rotație liberă ; *b* — cu tija rigidă ; *c* — cu țevi pentru patru conductoare.

**Stîlpii din beton armat centrifugat** pentru 110 kV de susținere, pentru simplu și dublu circuit, se pot realiza în sistemul monomontant, dar format din două tronsoane îmbinate telescopic (fig. 3.19, *a*, *b*) sau portal (fig. 3.19, *c*).

Pentru tensiuni de 220 și 400 kV se realizează ca stîlpi portali ancorați, la care îmbinarea montanților cu fundațiile se face prin articulații metalice. Se precizează însă faptul că, din considerente economice și datorită dificultăților de montaj din cauza greutății mari a stîlpilor de beton, locul acestora îl iau stîlpii metalici.

**Stîlpii metalici.** După felul construcției acești stîlpi pot fi clasificați în trei categorii : stîlpi metalici *cu zăbrele*, stîlpi metalici *monomontanți tubulari* și stîlpi metalici *monomontanți din oțel profilat*. Majoritatea stîlpilor metalici folosiți o constituie stîlpii cu zăbrele.

Tipul de oțel utilizat este OL-38, iar profilele folosite sînt : cornier cu aripi egale sau neegale, oțel U, oțel T și oțel lat.

• Din punct de vedere constructiv stîlpii metalici au trei părți : partea subterană a stîlpului, corpul stîlpului și coronamentul stîlpului.

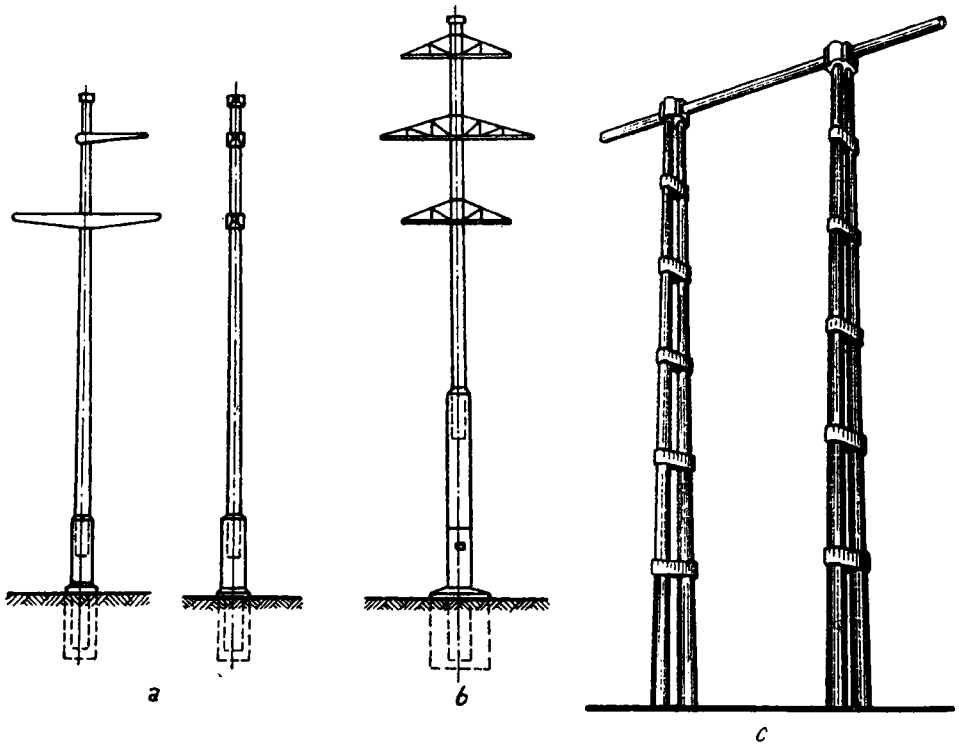



Fig. 3.19. Stîlpi de susținere din beton armat centrifugat pentru 110 kV :
*a* — simplu cu console din beton ; *b* — simplu cu console din metal ; *c* — portal.

*Partea subterană a stîlpului* o constituie elementele de încastrare a stîlpului în fundație și sînt executate, de obicei, din oțel cornier.

*Corpul stîlpului* constituie partea principală a sa și se compune, în principiu, din :

— montanți, în număr de patru, la stîlpii cu secțiune pătrată sau dreptunghiulară, executați de obicei din corniere cu aripi egale (fig. 3.20) ;

— diagonale, confecționate din profile sau din fier beton, fixate pe fețele laterale ale stîlpilor (fig. 3.21) înclinat (diagonale simple sau duble) și orizontal. Asamblarea lor cu montanții se face prin nituire sau sudare (fig. 3.22).

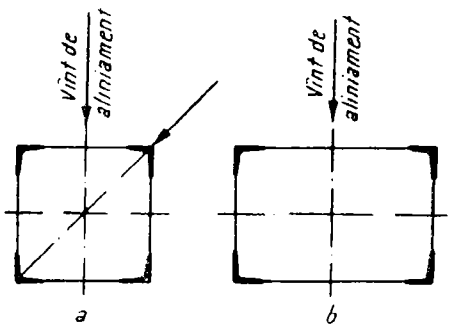



Fig. 3.20. Așezarea montanților stîlpilor metalici :
*a* — după colțurile unui pătrat ; *b* — după colțurile unui dreptunghi.

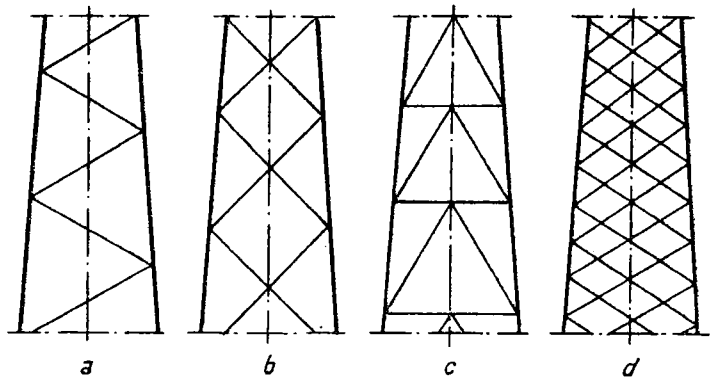



Fig. 3.21. Diagonalele stîlpilor metalici :
*a* — diagonale simple ; *b* — diagonale duble ; *c* — diagonale în formă de K ; *d* — diagonale cu noduri multiple.

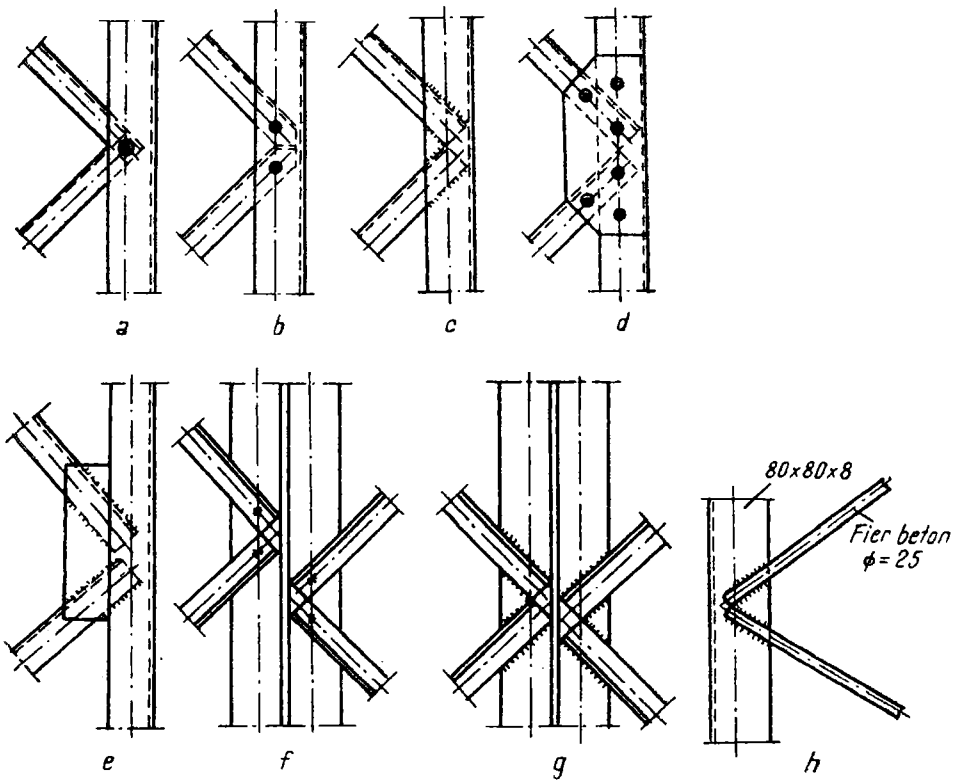



Fig. 3.22. Îmbinarea diagonalelor :
*a* — printr-un singur nit ; *b* — prin nituri separate ; *c* — prin sudură ; *d* — prin nituri și guseu ; *e* — prin sudură și guseu ; *f* — diagonale duble îmbinate prin nituri ; *g* — idem, prin sudură ; *h* — din fier beton, prin sudură.

Corpul stîlpului avînd, în general, lungimi de 20—30 m, este compus din mai multe corpuri de lungimi mai mici, numite tronsoane care se îmbină la locul de montare. Tronsoanele pot avea forme paralelipipedice sau trunchiuri piramidale, cu pante constante sau cu pante diferite.

Rigidizarea suplimentară a tronsoanelor se face la baza lor cu ajutorul contra vîntuirilor.

*Coronamentul stîlpului* este format din ansamblul de console, traverse, vîrfare etc., realizat la partea superioară a corpului stîlpului, în scopul fixării conductoarelor active și de protecție.

Numărul de circuite ale liniei și dispoziția conductoarelor determină forma coronamentului:

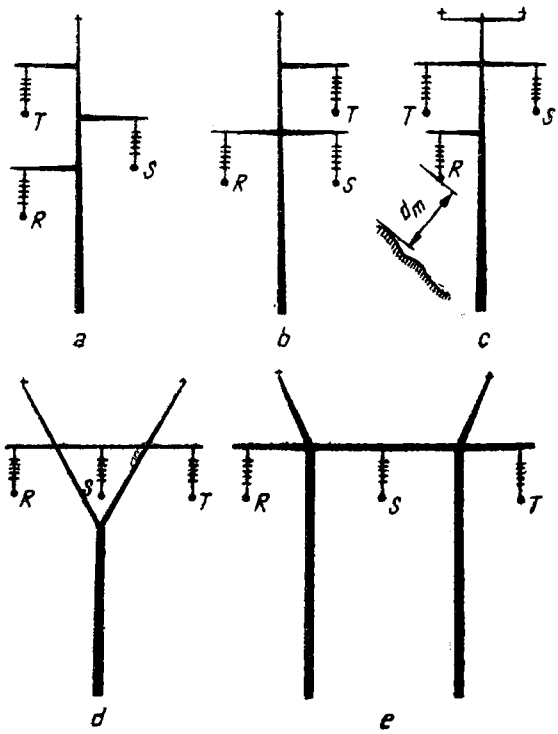



Fig. 3.23. Coronamente ale stîlpilor metalici cu simplu circuit:

*a, b, c* — fixarea conductoarelor după vîrfurile unui triunghi cu unul și două conductoare de protecție; *d, e* — fixarea conductoarelor în același plan orizontal (Y și portal) cu două conductoare de protecție.

— la liniile cu simplu circuit conductoarele active pot fi dispuse după vîrfurile unui triunghi sau în același plan orizontal pe stîlpi simpli, de format Y (pisică) sau portal (fig. 3.23). Aceste linii pot fi echipate cu unul sau cu două conductoare de protecție;

— la liniile cu dublu circuit cele șase conductoare active pot fi dispuse în trei planuri orizontale suprapuse (coronamentele de tipul hexagon, brad direct, brad întors), în două planuri orizontale (cu două conductoare sus și patru jos și invers, sau cu trei conductoare sus și trei jos) și cu toate șase conductoarele în același plan orizontal (fig. 3.24).

Acești stîlpi pot fi echipați cu unul sau cu două conductoare de protecție.

*Fundația* stîlpilor metalici se face în funcție de tipul de stîlp. Astfel stîlpii denumiți cu bază îngustă au cei patru montanți într-o singură fundație monobloc (fig. 3.25, *a*), stîlpii cu baza largă au fiecare montant fixat separat într-o fundație (fig. 3.25, *b*); de asemenea, stîlpii ancorați au fundații prin articulație (fig. 3.25, *c*).

Dintre tipurile de stîlpi metalici menționați, în țara noastră se folosesc, pentru liniile de înaltă tensiune cu simplu circuit, stîlpii cu coronament în triunghi, în Y, sau de tip pisică, iar la foarte înaltă tensiune — stîlpii portali și cei ancorați.

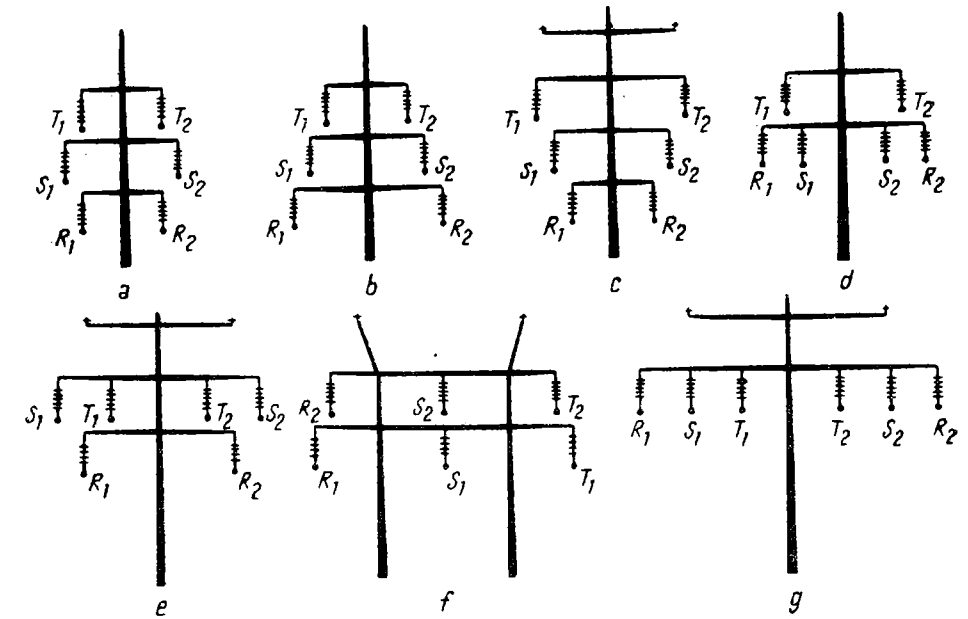



Fig. 3.24. Coronamente ale stîlpilor metalici cu dublu circuit :

*a* — hexagon şi un singur conductor de protecţie ; *b* — brad direct şi un singur conductor de protecţie ; *c* — brad invers şi două conductoare de protecţie ; *d*, *e*, *f* — cu conductoarele în două planuri orizontale cu unul şi două conductoare de protecţie ; *g* — cu toate conductoarele în acelaşi plan orizontal şi două conductoare de protecţie.

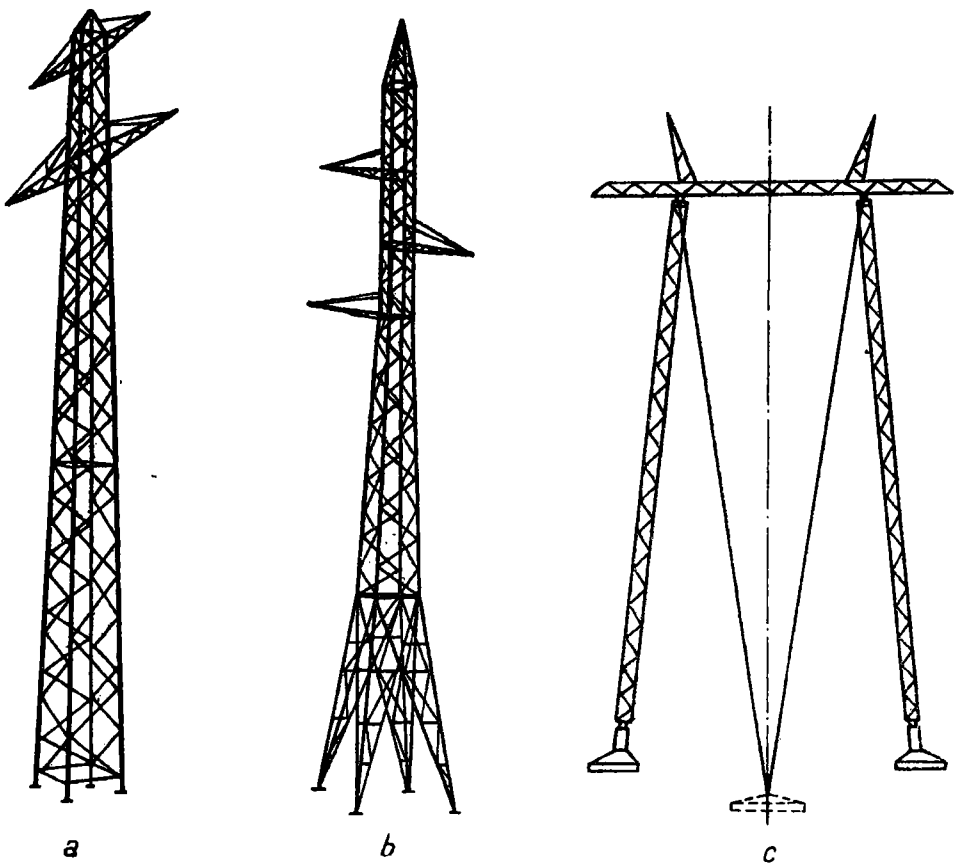



Fig. 3.25. Posibilităţi de fundare a stîlpilor metalici :

*a* — cu baza îngustă — fundaţie monobloc ; *b* — cu baza largă — fundaţii monopicior ; c — cu bază articulată şi ancore.

Pentru liniile cu dublu circuit se folosesc stîlpii cu coronamentul hexagon și brad întors.

La alegerea tipului de stîlp, se ține seamă de avantajele și dezavantajele sale în timpul funcționării, precum și de calculele tehnico-economice efectuate de către proiectanți.

## B. ELEMENTE DE REALIZARE ȘI EXPLOATARE A LINIILOR ELECTRICE AERIENE

Desigur că atît realizarea cît și exploatarea liniilor electrice aeriene de joasă și medie tensiune pun diferite probleme și prezintă o anumită importanță, dar acestea sînt cu mult depășite de cele care apar în cazul liniilor aeriene de înaltă și foarte înaltă tensiune. Pentru aceasta se vor examina în acest capitol o serie de probleme privind realizarea și exploatarea în ansamblu a liniilor electrice aeriene, unele dintre ele privind și liniile de joasă și medie tensiune.

### 1. Realizarea liniilor electrice aeriene

Această activitate complexă necesită rezolvarea la nivel corespunzător a unor probleme principale și anume:

— *alegerea metodei de execuție cea mai indicată* dintre cele posibile, respectiv *metoda de execuție în loturi*, reprezentînd împărțirea liniei în loturi (sectoare) aproximativ egale și executarea liniei simultan pe toate; *metoda de execuție în lanț*, reprezentînd executarea succesivă a diferitelor lucrări pe toată linia (săparea gropilor, aducerea și plantarea fundațiilor etc.) și *metoda mixtă*, care constă din îmbinarea primelor două;

— *industrializarea lucrărilor*, constînd în realizarea în întreprinderi fixe a unui număr cît mai mare de subansambluri, care transportate pe traseul liniei să conducă la scurtarea termenului de execuție;

— *mecanizarea cît mai complexă a lucrărilor*, prin folosirea de mecanisme sau dispozitive, ceea ce conduce la înlocuirea muncii manuale;

— *stabilirea tehnologiei de execuție*, adică procedeele de lucru aplicate pentru realizarea liniei într-un termen cît mai scurt și fără defecțiuni;

— *organizarea lucrărilor de pregătire a șantierului*, privind realizarea liniei propriu-zise și a lucrărilor anexe (linii telefonice etc.);

— *stabilirea mijloacelor de muncă necesare* pentru lucrări de terasament, pentru ridicat (utilizate la încărcarea și descărcarea stîlpilor, consolelor etc.) precum și a utilajelor de transport și tracțiune.

**Programul calendaristic de execuție.** Înainte de începerea lucrărilor, se întocmește de către executant programul calendaristic de execuție, avîndu-se în vedere, în funcție de termenul de dare în folosință, succesiunea tehnologică a lucrărilor, decalajul dintre fazele de execuție și asigurarea continuității lucrului pe șantier pe toată durata planificată. În figura 3.26 este reprezentat un astfel de program calendaristic de execuție.

LINIA ELECTRICĂ AERIANĂ 110 kV
SIMPLU CIRCUIT PE STÎLPI DE BETON
x-y

Volumul fizic și planul calendaristic de execuție a lucrărilor

| Nr. crt. | Denumirea lucrării | Volumul lucrării | | | | | Plan de lucru calendaristic | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | buc | km | $m^2$ | $m^3$ | t | I | II | III | IV | V | VI |
| | A Pregătirea tehnică | | | | | | | | | | | |
| 1 | Proiectul de execuție | | | | | | | | | | | |
| 2 | Proiectul de organizare a șantierului, aprobat | | | | | | | | | | | |
| 3 | Contract, finanțare | | | | | | | | | | | |
| | B Lucrări pregătitoare | | | | | | | | | | | |
| 1 | Preluarea traseului–pichetarea liniei | | | | | | | | | | | |
| 2 | Defrișări | | | | | | | | | | | |
| 3 | Amenajarea căii de acces și a platformelor | | | | | | | | | | | |
| | C Organizarea șantierului | | | | | | | | | | | |
| 1 | Amenajarea depozitelor în gări | 4 | | | | | | | | | | |
| 2 | Amenajarea sediului șantierului | 1 | | | | 50 | | | | | | |
| 3 | Amenajarea stațiilor centrale de beton | 3 | | | | | | | | | | |
| 4 | Amenajări mobile de șantier | 1 | | | | | | | | | | |
| | D Lucrări de bază | | | | | | | | | | | |
| | I Executarea fundațiilor | | | | | | | | | | | |
| 1 | Săparea gropilor | 274 | | | 2385 | | | | | | | |
| 2 | Betonarea fundațiilor stîlpilor de beton | 250 | | | 1475 | 4500 | | | | | | |
| 3 | Betonarea fundațiilor stîlpilor metalici | 24 | | | 316 | | | | | | | |
| | II Montarea stîlpilor | | | | | | | | | | | |
| 1 | Stîlpi de beton | 250 | | | | 1625 | | | | | | |
| 2 | Stîlpi metalici | 24 | | | | 70 | | | | | | |
| | III Montarea conductoarelor și izolatoarelor | | | | | | | | | | | |
| 1 | Conductoare active OL-Al 3x120 $mm^2$ | | 52 | | | 85 | | | | | | |
| 2 | Conductoare de protecție OL 50 $mm^2$ | | 52 | | | 21 | | | | | | |
| 3 | Lanțuri izolatoare armături, cleme | 694 | | | | 70 | | | | | | |
| | IV Alte lucrări și finisaj | | | | | | | | | | | |
| 1 | Instalații de legare la pămînt, finisări | 274 | | | | 24 | | | | | | |
| 2 | Vopsirea stîlpilor | | | 2400 | | 0,5 | | | | | | |
| 3 | Vopsirea consolelor | | | 2500 | | | | | | | | |

Fig. 3.26. Volumul fizic și planul calendaristic de execuție a unei linii electrice aeriene pe stîlpi de beton.

*Executarea fundațiilor* este prima operație de construcție a liniei, care constă din trasarea și excavarea gropilor fixate prin proiect, montarea fundațiilor prefabricate sau turnarea betonului, în cazul fundațiilor din beton monolit, umplerea golurilor rămase și compactarea pămîntului.

*Montarea stîlpilor* este următoarea operație, care necesită manipularea, transportul la locul de montare și ridicarea stîlpilor. Stîlpii de lemn au elemente componente simple, respectiv stîlpul propriu-zis, adaosuri, traverse etc., care nu pun probleme deosebite de transport, iar asamblarea se face la borne (locul de montare) cu șuruburi sau prin matisare. Stîlpii de beton armat și cei metalici se transportă cu vehicule corespunzătoare lungimii lor. Stîlpii

metalici pot fi confecționați pe panouri de tronsoane, care se transportă pachet iar la borne se asamblează cu șuruburi.

*Plantarea stîlpilor* cuprinde operațiile prin care stîlpul este adus din poziția de după asamblare în poziție verticală corectă și se fixează în fundație. Metodele folosite pentru ridicarea stîlpilor trebuie să nu permită deformarea acestora sau a fundațiilor. După ridicare se face alinierea stîlpilor și stabilirea lor în poziție corectă, după care se fixează definitiv în fundații.

Stîlpii de lemn sau de beton plantați direct în pămînt se fixează prin umplerea gropii cu tot pămîntul rezultat din săpătură, bătătorit cu maiul; în terenuri slabe se folosesc și straturi de pietriș, realizîndu-se fundații burate.

Stîlpii de beton se fixează în golul unor fundații de beton turnate, care se umplu cu un beton cu dozaj mare de ciment.

Stîlpii metalici se fixează pe fundații prin intermediul picioarelor de fundații prin bulonare.

*Montarea conductoarelor și izolatoarelor* sînt ultimele operații pentru realizarea unei linii și se desfășoară în următoarea succesiune:

— derularea conductoarelor folosindu-se, în general, metoda cu tamburul fix, cu care se asigură menținerea conductorului deasupra solului, evitîndu-se deteriorarea;

— ridicarea lanțurilor de izolatoare și a conductoarelor și fixarea lanțurilor de izolatoare de console, care se pot executa chiar în timpul derulării, cu ajutorul unor frînghii;

— întinderea la săgeată, pentru care se caută, pentru fiecare panou în parte, o deschidere în care se face măsurarea săgeții. Este indicat ca deschiderea să fie, pe cît posibil, în zona de mijloc a panoului și fără denivelări;

— fixarea conductoarelor în clemele de întindere și apoi în cele de susținere constituie ultima operație în construcția unei linii electrice aeriene.

## 2. Exploatarea liniilor electrice aeriene

Activitatea de exploatare a liniilor electrice aeriene constă din ansamblul de măsuri pe care le iau întreprinderile de rețele pentru a asigura condițiile de funcționare normală, fie prin prevenirea unor avarii, fie cînd acestea au apărut, prin remedierea în timp cît mai scurt a elementelor avariate.

În acest scop este necesar să se realizeze legături telefonice, posturi de supraveghere și de reparații și să se asigure apropierea de linii pînă la cel puțin 500 m pe orice vreme.

**Supravegherea liniilor electrice aeriene.** Conform instrucțiunilor se execută supravegheri periodice, fără scoatere de sub tensiune și fără urcare pe stîlpi: ziua pentru observarea stării traseului și a tuturor elementelor liniei și noaptea pentru a se urmări defectele clemelor care conduc la ridicarea peste limită a temperaturii (înroșire) și defectele lanțurilor de izolatoare, prin apariția fenomenului de licărire.

Un control mai atent al liniilor se face după depuneri de chiciură, înghețuri și dezghețuri bruște, în cazul deplasărilor de teren etc.

Din dispoziția personalului tehnic superior se mai pot face supravegheri extraordinare.

Eventualele defecțiuni observate cu ocazia supravegherilor și controalelor sînt comunicate secției de rețele pentru a le remedia, dacă sînt mai ușoare, sau dispecerului, dacă este necesară scoaterea liniei de sub tensiune pentru remediere.

**Revizia liniilor electrice aeriene** se execută cu periodicitate strictă, în scopul prevenirii defectării, al determinării stării de uzură a instalațiilor și a stabilirii naturii și volumului de operații ce urmează a se executa cu ocazia reparațiilor care apar necesare. În timpul reviziilor se efectuează o gamă largă de operații, dintre care se menționează:

— verificarea vizuală amănunțită a tuturor elementelor constructive ale liniilor (fundații, stîlpi, conductoare etc.);

— tăierea copacilor și crengilor care au crescut în apropierea liniilor;

— verificarea stadiului de putrezire a stîlpilor de lemn;

— înlocuirea conductoarelor deteriorate, datorită unor coroziuni, arcuri electrice etc.;

— înlocuirea izolatoarelor defecte;

— verificarea și măsurarea rezistenței prizelor de pămînt etc.

Fiecare dintre operațiile care se execută cu ocazia reviziilor necesită o pregătire a echipelor care le execută și o anumită tehnologie în realizarea lor, conform prevederilor instrucțiunilor și normativelor în vigoare.

**Repararea liniilor electrice aeriene.** *Reparațiile de avarie*, care se efectuează atunci cînd, din cauza unui deranjament vizibil, linia trebuie scoasă din funcțiune imediat pentru remedierea acestuia, sau cînd linia este scoasă de protecție din funcțiune datorită unei avarii.

*Reparațiile periodice* se fac în urma verificărilor periodice, cînd s-au constatat uzuri peste limitele admisibile ale unor elemente ale liniei, înainte ca acestea să afecteze funcționarea liniei.

*Reparațiile preventiv-planificate* se stabilesc la anumite intervale de timp, fără a se aștepta uzura pronunțată sau defectarea unor elemente ale liniei. Aceste reparații pot fi:

— *reparații capitale*, prin care se prelungește durata de funcționare a liniilor;

— *reparații curente* și *mijlocii* în scopul menținerii în stare de funcționare a liniei. Acestea se realizează, în general, cu linia scoasă din funcțiune și se programează pe perioade scurte de timp, de multe ori în zile de sărbătoare cînd consumul este mai redus.

În cazul în care este necesar ca unele lucrări de reparații să se execute cu linia în funcțiune, trebuie introduse mijloace tehnice suplimentare, care să asigure executarea acestor operații în deplină siguranță pentru muncitori.

Capitolul 4

# LINII ELECTRICE SUBTERANE DE JOASĂ ŞI MEDIE TENSIUNE

Liniile electrice subterane se folosesc pentru transportul şi distribuţia energiei electrice la consumatorii din oraş, de pe platforme industriale, din staţii şi centrale electrice etc. În funcţie de tensiunea de serviciu, liniile electrice subterane pot fi:

— de joasă tensiune;
— de medie tensiune;
— de înaltă tensiune.

Liniile electrice subterane prezintă *avantaje* faţă de liniile electrice aeriene şi anume:

— siguranţă în funcţionare mărită;
— nu ocupă teren necesar altor utilizări;
— nu influenţează estetica localităţilor;
— nu prezintă pericole de atingere directă de către oameni. Ele au însă şi unele *dezavantaje* cum sînt:
— costuri mai ridicate;
— depistarea şi remedierea defectelor mai dificile;
— necesită personal cu calificare ridicată pentru construcţia şi exploatarea lor.

## A. ELEMENTE COMPONENTE ALE LINIILOR ELECTRICE SUBTERANE

Principalele elemente componente ale unei linii electrice subterane sînt
— cabluri electrice;
— manşoane de înnădire;
— cutii terminale.

## 1. Cabluri electrice de energie

Cablurile electrice de energie reprezintă elementul principal al liniilor electrice subterane.

Ele se clasifică după diferite criterii, în funcție de materialul din care se fabrică conductoarele, materialul de izolație folosit, tensiunea de serviciu, tipul constructiv al conductoarelor (funie, rotundă sau sector) etc.

*Cablurile electrice de energie cu conductoare de cupru sau aluminiu* pot fi clasificate astfel;

**Cabluri de energie izolate cu hîrtie impregnată :**

*Cabluri izolate cu hîrtie impregnată în ulei*

— Cabluri cu patru faze izolate cu hîrtie pentru tensiunea de 1 kV

— Cabluri trifazate izolate cu hîrtie și o singură manta din plumb pentru 1—10 kV

Cabluri trifazate izolate cu hîrtie avînd fiecare fază în manta de plumb pentru tensiunea 10 — 20 kV

— Cabluri monofazate izolate cu hîrtie în manta de plumb pentru tensiuni 1 — 20 kV

*Cabluri sub presiune de gaze :*

— Cabluri trifazate sub presiune de gaze (15 atm) cu manta dublă de plumb și gaz între mantale pentru tensiuni 10 — 20 kV

— Cabluri trifazate sub presiune de gaze (15 atm) în țeavă de oțel și manta din plumb sau polietilenă pentru tensiunea de 10 — 35 kV

**Cabluri de energie izolate cu cauciuc sau material plastic :**

— Cabluri mono sau trifazate în manta de plumb sau policlorură de vinil fără înveliș protector pentru tensiuni 10 — 20 kV

— Cabluri mono sau trifazate în manta de plumb sau policlorură de vinil cu înveliș protector din cînepă impregnată pentru tensiuni 1 — 20 kV.

— Cabluri mono sau trifazate în manta de plumb sau policlorură de vinil cu înveliș protector și două benzi metalice protejate contra agenților chimici pentru tensiuni 1 — 20 kV

**Cabluri cu izolație de hîrtie.** Cablurile cu tensiunea de serviciu pînă la 20 kV au o construcție asemănătoare, avînd însă grosimea izolației diferită în funcție de tensiune.

Conductorul, din cupru sau aluminiu de tip funie, rotund sau sector, este înfășurat cu un strat izolant de hîrtie impregnată în ulei. Cu cît tensiunea de serviciu a cablului este mai mare cu atît stratul de hîrtie este mai gros. Peste acest strat izolant, pentru mărirea izolației dintre conductor și mantaua de plumb, se mai înfășoară un strat de hîrtie impregnată peste care se pune mantaua de plumb. Mantaua de plumb are rolul de a proteja conductorul și izolația împotriva umezelii. Ea este continuă formînd un înveliș etanș. Pentru protecția împotriva agenților chimici și a loviturilor mecanice, peste mantaua de plumb se înfășoară un strat de iută asfaltată, o armătură din două benzi de oțel și din nou un strat de iută.

În figura 4.1 sînt reprezentate principalele tipuri de cabluri de energie monofazate cu conductorul tip sector.

În figura 4.2 sînt reprezentate principalele tipuri de cabluri de energie trifazate cu conductorul (de cupru sau aluminiu) tip funie-rotund, cu o singură manta de plumb. La aceste cabluri, după ce fiecare conductor a fost izolat cu hîrtie impregnată cu ulei, se înfășoară împreună cele trei conductoare cu mai multe straturi de hîrtie impregnată, iar golurile se umplu cu sfoară de hîrtie sau iută îmbibate în ulei. În continuare construcția este identică cu cea a cablurilor monofazate.

La unele cabluri trifazate de înaltă tensiune cu o singură manta se utilizează cîteva straturi de hîrtie metalizată (cu rol de ecranare) pentru uniformizarea cîmpului.

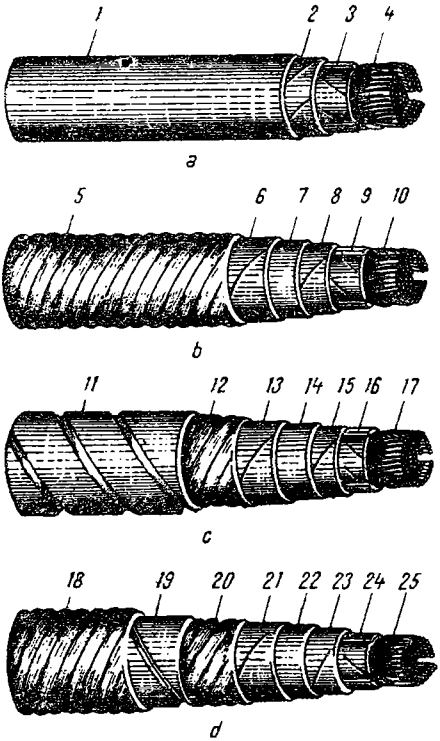



Fig. 4.1. Cabluri de energie monofazate, de cupru sau aluminiu, izolate cu hîrtie, invelite sau neînvelite cu iută, de formă sector :

*a* — cablu CHP, respectiv ACHP ; *b* — cablu CHPI, respectiv ACHPI ; *c* — cablu CHPB, respectiv ACHPB ; *d* — cablu CHPBI, respectiv ACHPBI ; *1, 7, 14, 22* — manta de plumb ; *2, 6, 8, 13, 15, 21, 23* — înfăşurare de hîrtie ; *3, 9, 16, 24* — izolaţie de hîrtie ; *4, 10, 17, 25* — conductor ; *5, 18* — înfăşurare de iută impregnată ; *11, 19* — armătură din două benzi de oţel ; *12, 20* — saltea de iută sau înfăşurare de hîrtie.

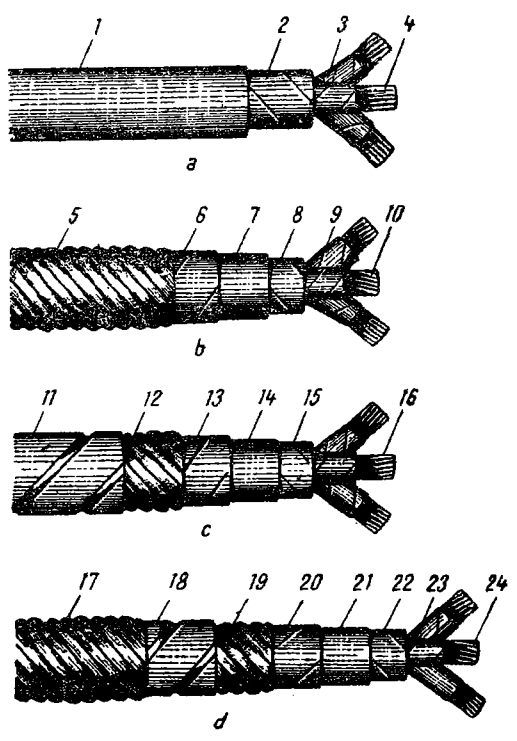



Fig. 4.2. Cabluri de energie trifazate de cupru sau de aluminiu, izolate cu hîrtie, cu manta de plumb învelită cu iută, de formă rotundă :

*a* — cablu CHP, respectiv ACHP ; *b* — cablu CHPI, respectiv ACHPI ; *c* — cablu CHPB, respectiv ACHPB ; *d* — cablu CHPBI, respectiv ACHPBI ; *1, 7, 14, 21,* — manta de plumb ; *2, 6, 8, 13, 20, 22* — înfăşurare de hîrtie ; *3, 9, 15, 23* — izolaţie de hîrtie ; *4, 10, 16, 24* — conductor ; *5, 17* — înfăşurore din fire de iută impregnată ; *11, 18* — armătură din două benzi de oţel ; *12, 19,* — saltea de iută sau înfăşurare de hîrtie.

**Cabluri cu izolaţie de cauciuc.** Aceste cabluri se utilizează în general la tensiunile de 1—6—10 kV.

Izolaţia fiecărui conductor se asigură cu un strat de cauciuc vulcanizat.

Conductoarele astfel izolate se răsucesc împreună, se umplu golurile cu cauciuc şi se acoperă totul cu o bandă impregnată. Urmează apoi mantaua de plumb, armătura de oţel şi învelişul de iută asfaltată.

**Cabluri cu izolaţie din materiale plastice.** Construcţia acestor cabluri este similară celei a cablurilor cu izolaţie de cauciuc. Se deosebesc de acestea prin faptul că în locul mantalei de plumb se execută o manta din policlorură de vinil sau din polietilenă (fig. 4.3).

În tabelul 4.1 sînt prezentate principalele tipuri de cabluri de energie ce se fabrică în ţara noastră, precum şi domeniile de utilizare.

*Tabelul 4.1*

**Principalele tipuri de cabluri de energie ce se fabrică în țară și domeniile de utilizare**

| Nr. crt. | Tensiunea nominală kV | Tipul construcției | Simbol | Numărul de conductoare | Conductoare | | Domeniul de utilizare |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Secțiune mm² | Material | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 1 | Cablu cu izolație de hîrtie în manta de plumb, armat, cu protecție exterioară din fire de iută | CHPAbI | 3 | 35—150 | Cu | Montare în pămînt (șanțuri) |
| | | | | 3+1 | 35—150 | | |
| | | | ACHPAbI | 3 | 35—150 | Al | |
| | | | | 3+1 | 35—150 | | |
| 2 | | Cablu cu izolație de policlorură de vinil, în manta de plumb | CYP | 1 | 1,5—120 | Cu | Montarea în instalații din interiorul clădirilor, în tuneluri sau canale de cabluri unde nu există posibilitatea unor eventuale lovituri, cînd nu există posibilitatea acțiunii unor acizi |
| | | | | 3 | 1,5— 35 | | |
| | | | | 4 | 1,5— 35 | | |
| | | | ACYP | 1 | 4 —120 | Al | |
| | | | | 3 | 4 — 35 | | |
| | | | | 4 | 4 — 35 | | |
| 3 | | Cablu cu izolație de policlorură de vinil în manta de plumb și manta de policlorură de vinil | CYPY | 1 | 25—120 | Cu | Aceleași domenii de utilizare cu condiția să nu existe abur, gaze sau acizi care au acțiuni distructive asupra mantalei de PCV |
| | | | | 3 | 4 — 35 | | |
| | | | | 4 | 4 — 35 | | |
| | | | ACYPY | 1 | 25—120 | Al | |
| | | | | 3 | 4 — 35 | | |
| | | | | 4 | 4 — 35 | | |
| 4 | | Cablu cu izolație și manta de policlorură de vinil | CYY ACYY | 1 | 1,5—400 | Cu | Aceleași domenii de utilizare cu condiția să nu existe abur, gaze sau acizi care au acțiuni distructive asupra mantalei de PCV |
| | | | | 3 | 1,5—240 | | |
| | | | | 1 | 4 —400 | Al | |
| | | | | 3 | 4 — 240 | | |

*Tabelul 4.1 (continuare)*

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | | Cablu cu izolaţie şi manta de policlorură de vinil cu armătură din benzi de oţel | CAYbY | 1 | 25—400 | Cu | Montare în tuneluri şi canale de cabluri, dar şi în pămînt unde solul nu este în permanenţă umed |
| | | | | 3 | 4 —240 | | |
| | | | ACAYbY | 1 | 25—400 | Al | |
| | | | | 3 | 6—200 | | |
| 6 | 6 | Cablu cu izolaţie de hîrtie, în manta de plumb | ACHP | 3 | 35—160 | Al | Montare în tuneluri şi canale de cabluri sau în locuri unde sînt excluse eventualele loviturl |
| 7 | | Cablu cu izolaţie de hîrtie, în manta de plumb, armat, cu protecţie exterioară din fire de iută | CHPAbI | 3 | 35—150 | Cu | Montare în pămînt |
| | | | ACHPAbI | 3 | 25—150 | Al | |
| 8 | | Cablu cu izolaţie de policlorură de vinil, cu armătură din benzi de oţel | ACYAbI | 3 | 25—185 | Al | Montare în terenuri uscate |
| 9 | 10 | Cablu cu izolaţie de hîrtie, în manta de plumb, armat, cu protecţie exterioară din fire de iută | CHPAbI | 3 | 35—150 | Cu | Montare în pămînt |
| | | | ACHPAbI | 3 | 25—150 | Al | |
| 10 | | Cablu cu izolaţie şi manta din policlorură de vinil | ACYSY | 3 | 35—150 | Al | Montare în tuneluri sau canale de cabluri |
| 11 | | Cabluri cu izolaţie şi manta din policlorură de vinil cu armătură din benzi de oţel | ACYSAbI | 3 | 23—150 | Al | Montare în terenuri uscate, fără posibilitatea intrării aburului, gazelor sau acizilor |

Simbolurile cablurilor sînt formate din litere majuscule, care au următoarele semnificaţii :

C — cablu cu conductor de cupru ;
AC — cablu cu conductor de aluminiu ;
H — izolaţie din hîrtie ;
Y — izolaţie din PCV ;
P — manta de plumb ;
Ab — armătură din benzi de oţel ;
I — înveliş de iută ;
S — ecran de cupru.

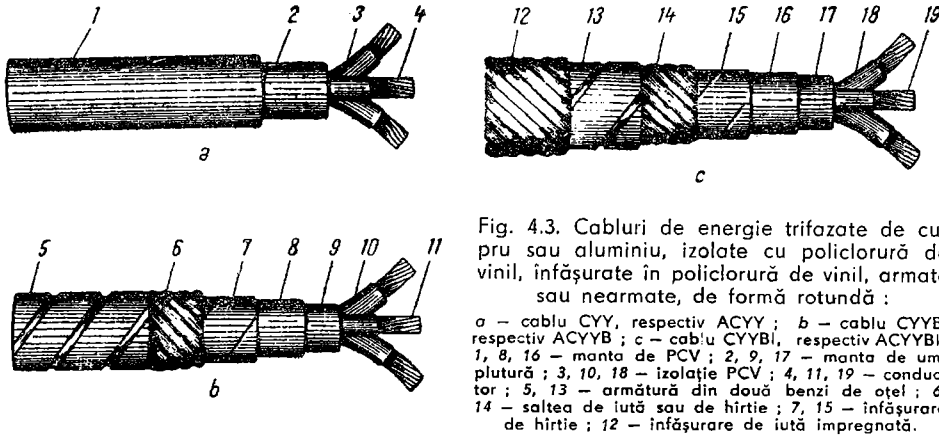



Fig. 4.3. Cabluri de energie trifazate de cupru sau aluminiu, izolate cu policlorură de vinil, înfăşurate în policlorură de vinil, armate sau nearmate, de formă rotundă :

*a* — cablu CYY, respectiv ACYY ; *b* — cablu CYYB, respectiv ACYYB ; *c* — cablu CYYBI, respectiv ACYYBI; *1, 8, 16* — manta de PCV ; *2, 9, 17* — manta de umplutură ; *3, 10, 18* — izolaţie PCV ; *4, 11, 19* — conductor ; *5, 13* — armătură din două benzi de oţel ; *6, 14* — saltea de iută sau de hîrtie ; *7, 15* — înfăşurare de hîrtie ; *12* — înfăşurare de iută impregnată.

**Alegerea cablurilor.** La alegerea cablurilor electrice trebuie să se ţină seamă de :

— condiţiile de dimensionare electrică (în regim normal şi de scurtcircuit) ;

— condiţiile de mediu (temperatura mediului ambiant, rezistenţa calorică specifică a solului, umiditatea, agenţii corosivi, pericolul de incendiu şi explozie etc.) ;

— condiţiile de pozare (în pămînt, în canale şi tuneluri, modul de aşezare, denivelări, apropieri de alte instalaţii şi construcţii etc.).

În zonele utilajelor tehnologice, unde temperatura mediului ambiant depăşeşte valoarea de +40° C (măsurată lîngă fluxul de cabluri) se vor folosi cabluri rezistente la temperatura respectivă ţinîndu-se seamă şi de încărcarea electrică admisibilă a cablului.

În locuri expuse trepidaţiilor nu se vor prevedea cabluri cu manta de plumb.

## 2. Manşoane de înnădire

Manşoanele de înnădire se construiesc din fontă (fig. 4.4), fiind constituite din două părţi (partea superioară şi partea inferioară) care se îmbină cu şuruburi. Capetele cablurilor se introduc prin părţile laterale, iar conductoarele se înnădesc cu cleme. În partea superioară manşonul are un orificiu (prevăzut cu capac) prin care se toarnă masa izolantă.

Manşoanele de înnădire au un rol important în reţelele electrice subterane, trebuind să asigure :

— continuitatea perfectă a conductoarelor cablurilor ;

— continuitatea circulaţiei de ulei la cablurile cu ulei sub presiune ;

— continuitatea electrică a mantalei metalice şi etanşeitatea mantalei de plumb sau aluminiu ;

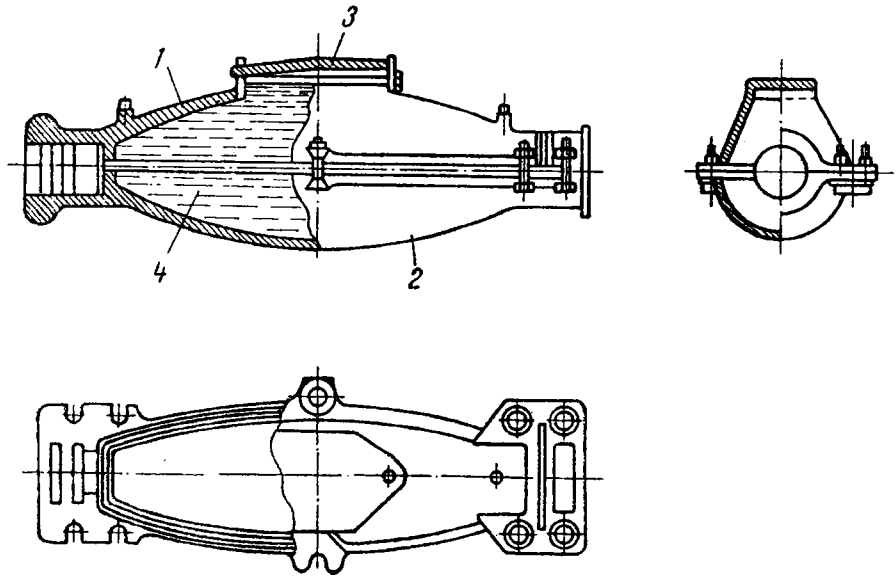



Fig. 4.4. Manșon de înnădire de fontă :
*1 — partea superioară ; 2 — partea inferioară ; 3 — capac ; 4 — masă izolantă.*

— continuitatea electrică a benzilor metalice și a ecranelor ;
— nivelul de izolație corespunzător ;
— protecția mecanică similară cu cea a cablurilor ;
— protecția cablurilor împotriva pătrunderii umezelii și a altor substanțe cu acțiune nocivă din mediul înconjurător.

## 3. Cutii terminale

Cutiile terminale sînt armături care se montează la capetele cablurilor care permit scoaterea în exterior a conductoarelor cablurilor și legarea lor la aparate sau mașini electrice, la barele stațiilor sau la linii aeriene.

Cutiile terminale sînt *de tip interior* și *exterior* fiind confecționate din *fontă*, tablă de *oțel* sau *plumb* și din *rășini epoxidice*.

În figura 4.5 este reprezentată o cutie terminală uscată (fără masă izolantă) executată din plumb și folosită la cabluri cu tensiune pînă la 10 kV.

În figura 4.6 este reprezentată o cutie terminală de fontă, de tip exterior, cu izolatoare de porțelan prin care se scot conductoarele cablurilor. Aceste cutii se folosesc de regulă la tensiunile de 20—30 kV. Pentru cablurile cu tensiuni mai mari de 30 kV izolatoarele din porțelan ale cutiilor terminale sînt umplute cu ulei izolant.

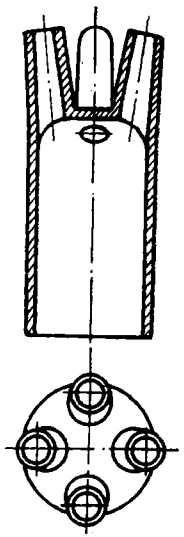


Fig. 4.5. Cutie terminală de plumb.

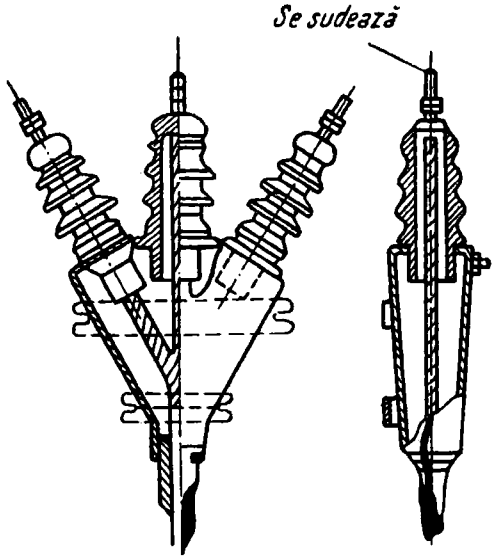



Fig. 4.6. Cutie terminală de fontă, de tip exterior.

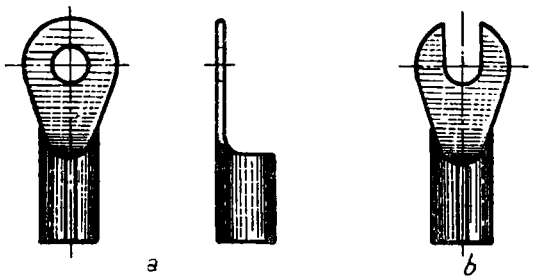



Fig. 4.7. Papuci de cablu :
*a* — cu urechea închisă ; *b* — cu urechea deschisă.

Pentru racordarea la aparate sau bare a cablurilor electrice se folosesc piese de legătură numite *papuci*. Papucii se confecționează din cupru sau din aluminiu și se fixează de bare sau aparate, prin șuruburi. Papucii de cupru se fixează de conductoarele cablurilor prin cositorire, iar cei de aluminiu prin sudare.

În figura 4.7 sînt reprezentate două tipuri de papuci de cablu.

## B. CONSTRUCȚIA LINIILOR ELECTRICE SUBTERANE

Construcția liniilor electrice subterane se face conform instrucțiunilor tehnologice și prevederilor din proiect, prin pozarea cablurilor, montarea manșoanelor de înnădire și a cutiilor terminale.

## 1. Pozarea cablurilor

După natura traseului pe care urmează să-l parcurgă cablurile, pozările pot fi :

— direct în pămînt ;

— în tuneluri sau canale,

iar în cazuri speciale pe poduri, dane și puțuri (pe verticală).

**Pozarea cablurilor în pămînt.** Procesul tehnologic la pozarea cablurilor direct în pămînt este următorul :

— stabilirea traseului ;

— săparea șanțurilor ;

— executarea traversărilor (de străzi, șosele, căi ferate) ;

— pozarea cablurilor și tragerea acestora prin tuburile de la subtraversări ;

— introducerea cablurilor în stații și posturi de transformare ;

— astuparea șanțului ;

— refacerea pavajelor, acolo unde este cazul.

*Stabilirea traseului cablului* ce urmează a fi pozat și luarea în primire pe teren a acestuia de către întreprinderea de execuție, se face în prezența proiectantului și a delegatului unității de exploatare.

Se stabilesc traversările de străzi, șosele, căi ferate. O dată cu stabilirea traseului se precizează și instalațiile subterane existente (cabluri de energie electrică, conducte de gaze sau apă etc.), precum și măsurile de protejare a acestora în timpul lucrărilor. Se stabilește de către conducătorul lucrării locul de amplasare a tamburelor de cablu, locul manșoanelor de înnădire, precum și măsuri organizatorice necesare lucrării.

*Săparea șanțurilor* se execută fie manual, fie mecanizat cu mașini speciale, iar pămîntul rezultat se depozitează la aproximativ 30 cm de marginea șanțului (fig. 4.8). În figura 4.9 sînt reprezentate cîteva profiluri de șanț

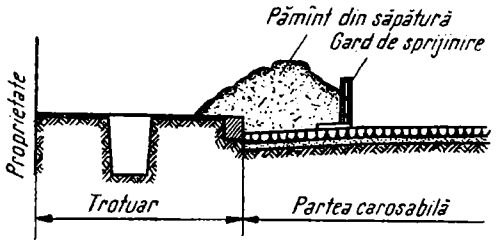



Fig. 4.8. Depozitarea pămîntului din săpătură.

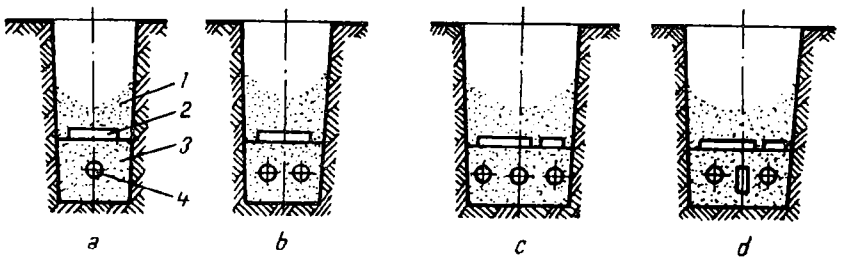



Fig. 4.9. Profiluri pentru pozarea cablurilor :
*1 — pămînt ; 2 — cărămidă ; 3 — nisip ; 4 — cablu.*

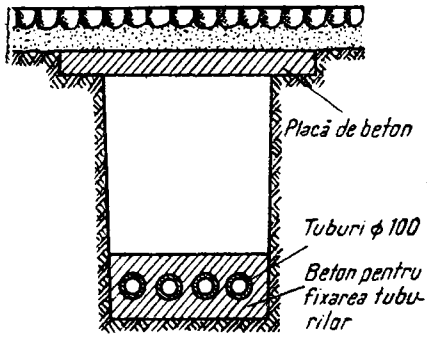



Fig. 4.10. Secțiune transversală printr-o traversare.

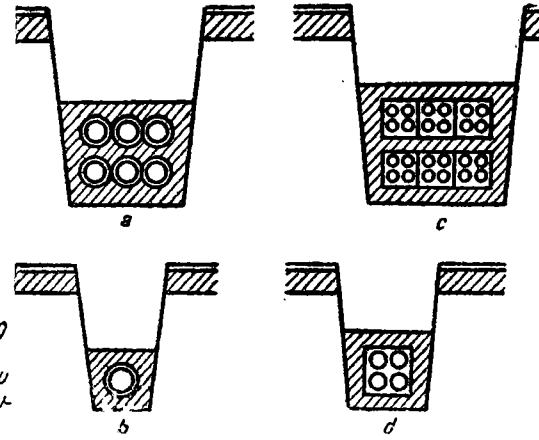



Fig. 4.11. Secțiuni prin traversări subterane : *a* — cu șase tuburi ; *b* — cu un singur tub ; *c* — cu șase tuburi tip „telefoane" cu cîte patru găuri ; *d* — cu un singur tub tip „telefoane" cu patru găuri.

pentru diferite cazuri de pozare, pentru unul, două sau trei cabluri de energie *(a,b,c)* sau pentru un cablu de energie și un cablu de comandă *(d)*.

*Traversările de străzi, șosele sau căi ferate* se execută cu atenție pentru a nu se perturba circulația. Pe fundul șanțurilor săpate pentru traversarea șoselelor sau străzilor se așază unul sau mai multe tuburi de beton, cu una sau mai multe găuri prin care se introduc cablurile. În figura 4.10 este reprezentată o secțiune transversală la o traversare a unei străzi.

În unele cazuri nu se execută șanțuri la traversări ci se execută o gaură prin forare în care se introduce o țeavă de oțel sau material izolant rezistent prin care trece cablul. În figura 4.11 sînt reprezentate principalele tipuri de traversări.

*Pozarea cablurilor.* După executarea traversărilor cablurile se pozează (manual sau mecanizat), se trec prin tuburile din subtraversări și în final se introduc în stațiile și posturile de transformare.

După așezarea cablului pe fundul șanțului se toarnă un strat de nisip de 10 cm, apoi se ridică cu mîna cablul deasupra stratului de nisip peste care se așază din nou un strat de nisip de 10 cm, peste care se așază în lungul cablului un rînd de cărămizi cu rol de protecție și avertizare, împotriva loviturilor mecanice.

Urmează *astuparea șanțului* cu pămînt în straturi de pînă la 20 cm, care se bătătoresc cu maiul (manual sau mecanic). După umplerea șanțului *se reface pavajul.* La locurile unde se montează manșoanele de înnădire se lasă șanțul descoperit și marcat pînă la executarea acestora.

Atît cablul cît și manșoanele se marchează pe teren conform normelor.

**Pozarea cablurilor în tuneluri și canale.** Pozarea cablurilor în centralele electrice, stații electrice de transformare sau în clădiri industriale, se face pe stelaje metalice în tuneluri sau canale de cabluri ale căror dimensiuni minime sînt date în figurile 4.12 și 4.13.

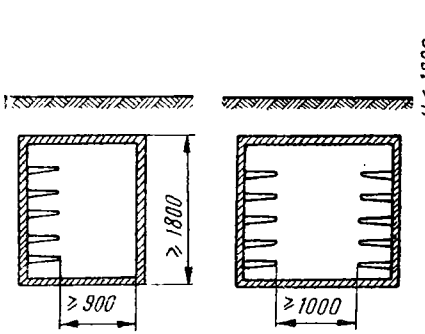
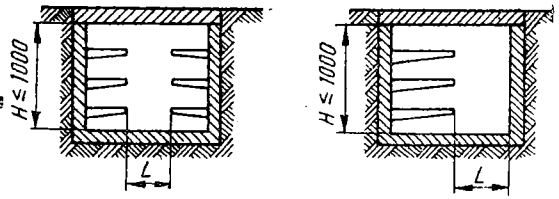



Fig. 4.12. Dimensiuni minime la tuneluri de cabluri.




| H (mm) | < 450 | < 600 | > 600 |
|---|---|---|---|
| L (mm) | ≥ 250 | ≥ 300 | ≥ 500 |

Fig. 4.13. Distanțe libere minime în canale de cabluri.

Pe stelajele superioare se montează cablurile de forță în ordine descrescîndă a tensiunii urmînd apoi cablurile de comandă și control, iar cablurile de telemecanică sînt așezate pe stelajul inferior conform figurii 4.14.

Pozarea cablurilor în tuneluri sau canale se face în general manual.

**Recomandări la pozarea cablurilor.** La pozarea cablurilor trebuie să se respecte o serie de reguli menite să asigure o bună calitate a lucrării.

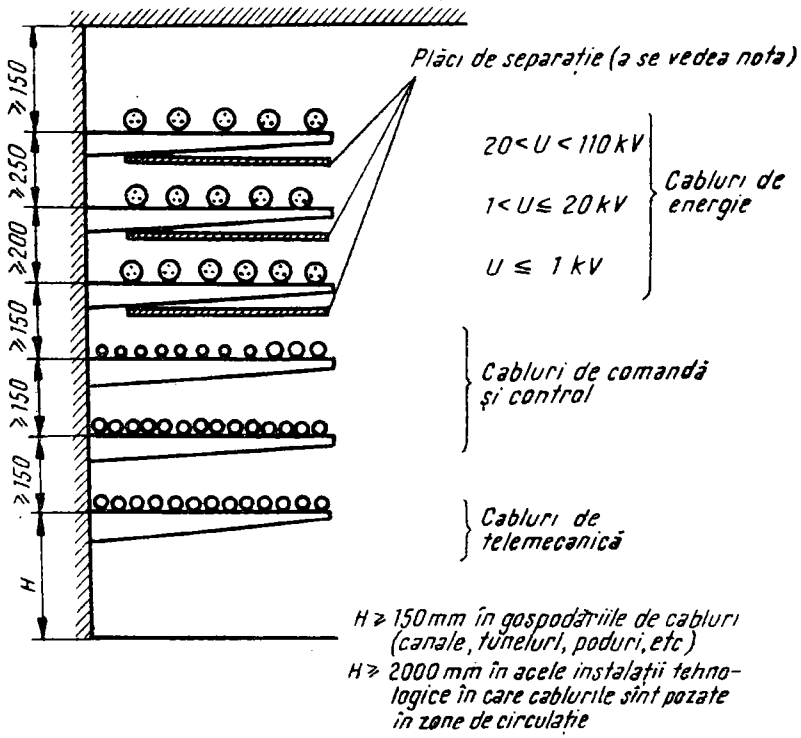

Plăci de separație (a se vedea nota)
≥ 150
≥ 250
≥ 200
≥ 150
≥ 150
≥ 150
H
20 < U < 110 kV
1 < U ≤ 20 kV
U ≤ 1 kV
Cabluri de energie
Cabluri de comandă și control
Cabluri de telemecanică
H ≥ 150 mm în gospodăriile de cabluri (canale, tuneluri, poduri, etc)
H ≥ 2000 mm în acele instalații tehnologice în care cablurile sînt pozate în zone de circulație

Fig. 4.14 Distanțe minime pe verticală între cabluri pozate în canale și tuneluri estacade și poduri de cabluri.

Pozarea cablurilor la temperaturi ale mediului ambiant mai scăzute de —5°C se poate face numai cu o încălzire prealabilă a cablului, în hale sau încăperi special amenajate. Durata încălzirii cablurilor pe tambure depinde de temperatura aerului din încăperea în care se face încălzirea conform tabelului 4.2.

*Tabelul 4.2*

**Durata de încălzire a cablurilor**

| Temperatura aerului în încăperea sau baraca folosită pentru încălzit °C | Durata încălzirii cablurilor |
|---|---|
| de la + 5 la +10 | cel puțin 3 zile |
| de la +10 la +25 | cel puțin 1 zi |
| de la +25 la +40 | cel puțin 18 ore |

Pe toată durata încălzirii cablului, acesta va fi supravegheat de un muncitor special instruit, care va efectua rotirea tamburelor cu cabluri cu un sfert de rotație din două în două ore și va măsura și înregistra permanent temperatura aerului din încăpere.

La intersecția unui cablu cu conducte calde, sînt obligatorii măsurile de izolare termică a acestora.

Razele de curbură minime admise la îndoirea cablurilor atît în timpul manevrelor de pozare, cît și de fixare, se calculează cu ajutorul tabelului 4.3, înmulțindu-se diametrul exterior al cablului cu valoarea lui $K$ din tabel.

*Tabelul 4.3*

**Valoarea coeficientului K**

| Nr. crt. | Tipul cablului | Coeficientul $K$ |
|---|---|---|
| | a. *Cabluri în manta de plumb* | |
| 1 | Cabluri electrice de energie, cu mai multe conductoare cu izolație de hîrtie impregnată, armate și nearmate | 15 |
| 2 | Cabluri electrice de energie, cu un singur conductor, cu izolație de hîrtie impregnată, armate și nearmate | 25 |
| 3 | Cabluri electrice de energie, cu unul sau mai multe conductoare cu izolație de cauciuc, armate și nearmate | 10 |
| | b. *Cabluri în manta de aluminiu* | |
| 4 | Cabluri electrice de energie, cu izolație de hîrtie impregnată, în manta de aluminiu armate și nearmate, cu conductoare multifilare | 30 |
| 5 | Cabluri electrice de energie, cu izolație de hîrtie impregnată, în manta de aluminiu, armate și nearmate, cu conductoare monofilare | |
| | c. *Cabluri izolate cu materiale plastice* | |
| 6 | Cabluri electrice de energie, cu izolație și manta din policlorură de vinil armate și nearmate | 15 |

În cazul în care cablurile se montează pe trasee cu o diferență de nivel între capete care depășește limitele admise prescrise de fabricile furnizoare se vor folosi cabluri de construcții speciale.

Pentru cablurile electrice de energie de construcție normală (cu izolație de hîrtie impregnată și manta de plumb) pot fi luate în considerație următoarele denivelări maxime :

— cablurile de 1 kV armate și nearmate . . . . . 20 m
— cablurile de 6—10 kV . . . . . 15 m
— cablurile de 20 kV . . . . . 10 m

Pentru cablurile electrice de energie cu izolație de hîrtie impregnată și manta de aluminiu se poate admite o denivelare de maximum 25 m.

## 2. Montarea manșoanelor de înnădire

Montarea manșoanelor de înnădire a cablurilor cere o atenție deosebită în execuție pentru a nu constitui puncte slabe în rețeaua de cabluri.

Principalele operații la montarea manșoanelor de joasă tensiune la un cablu trifazat sînt următoarele :

— se îndepărtează capsulele de plumb, montate pentru evitarea umezirii cablului și se taie cu ferăstrăul capetele cablului ;

— la o distanță egală cu jumătatea lungimii manșonului, plus 5—6 cm de capătul cablului se execută un bandaj de sîrmă galvanizată. Pe porțiunea de la capătul cablului pînă la bandaj se înlătură iuta și armătura nemetalică ;

— se îndepărtează mantaua de plumb a cablului pe o lungime de 30—40 cm. Se face cu cuțitul o tăietură circulară la distanța respectivă și două crestături longitudinale, la distanță de circa 10 mm una de alta. Fîșia de manta de 10 mm se desprinde la capăt cu cuțitul și apoi se îndepărtează cu cleștele patent (fig. 4.15). După aceasta se înlătură restul mantalei de plumb ;

— se desface apoi izolația de centură și se îndepărtează unele de altele cele trei conductoare izolate ;

— se dezizolează capetele conductoarelor, se așază în partea inferioară a manșonului, se curăță cu o cîrpă înmuiată în benzină, se ung cu pastă de lipit și se introduc în clemele de legătură ;

— se cositoresc conductoarele dezizolate și se montează piesele izolante de distanțare pentru menținerea distanței între conductoare ;

— se reizolează apoi conductoarele cu hîrtie impregnată, se montează partea superioară a manșonului și se toarnă masa izolantă la o temperatură de circa 120 °C. Se lasă să se răcească și apoi se umple din nou manșonul cu masă izolantă după care se montează capacul manșonului.

Manșoanele de înnădire la cablurile de 10—20 kV au în interior (suplimentar față de cele de 1 kV) un manșon special de plumb care se lipește la mantaua de plumb a celor două capete de cablu. În partea superioară acesta are două găuri prin care se toarnă masa izolantă după care găurile se astupă

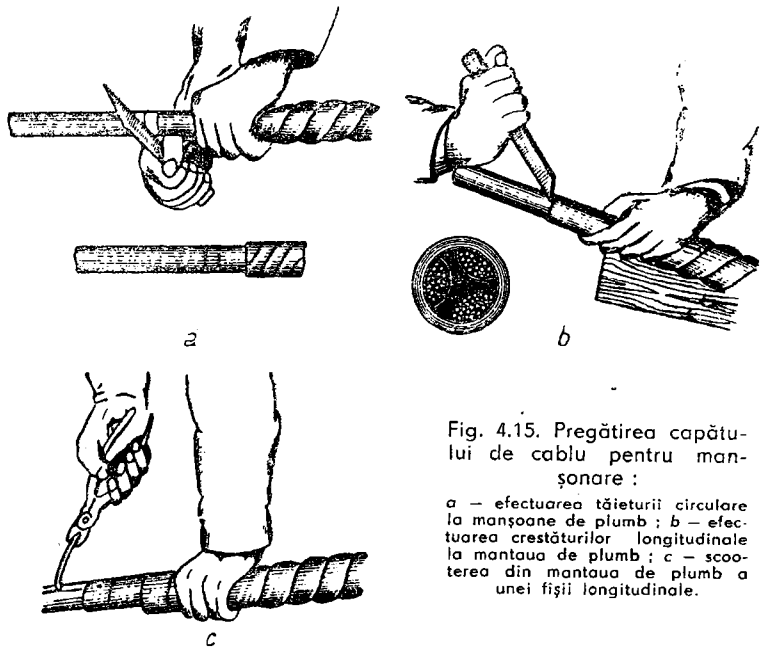



Fig. 4.15. Pregătirea capătului de cablu pentru manșonare :

*a* — efectuarea tăieturii circulare la manșoane de plumb ; *b* — efectuarea crestăturilor longitudinale la mantaua de plumb ; *c* — scoaterea din mantaua de plumb a unei fișii longitudinale.

cu aliaj de cositor. Manșonul de plumb se leagă printr-un conductor de cupru cu armătura metalică a cablului și cu manșonul de fontă.

Toate operațiile se execută cu respectarea normelor tehnice și de protecție a muncii impuse de fișele tehnologice.

## C. EXPLOATAREA LINIILOR ELECTRICE SUBTERANE

Prin exploatarea liniilor electrice subterane se înțelege totalitatea activităților ce trebuie duse pentru menținerea acestora în funcționare continuă și sigură, la nivelul capacităților stabilite prin proiecte.

În figura 4.16 sînt reprezentate principalele activități menite să asigure o exploatare corectă și economică a liniilor electrice subterane.

### 1. Urmărirea funcționării liniilor electrice subterane

Exploatarea corectă a liniilor electrice subterane impune menținerea regimului normal de funcționare a acestora.

În acest sens, prin personalul de exploatare permanent din stațiile electrice de transformare sau de distribuție se urmăresc valorile curenților care circulă prin cabluri și înregistrarea orară a acestora în registrul de exploatare. Orice depășire a valorii nominale a curentului stabilit pentru fiecare cablu se anunță organului superior pentru a se lua măsuri de revenire la normal.

Personalul de exploatare urmărește, de asemenea, starea cutiilor terminale (dacă nu sînt scurgeri de masă izolantă sau ulei din izolatoare, starea de curățenie a izolatoarelor, dacă nu apar încălziri ale clemelor de legătură a

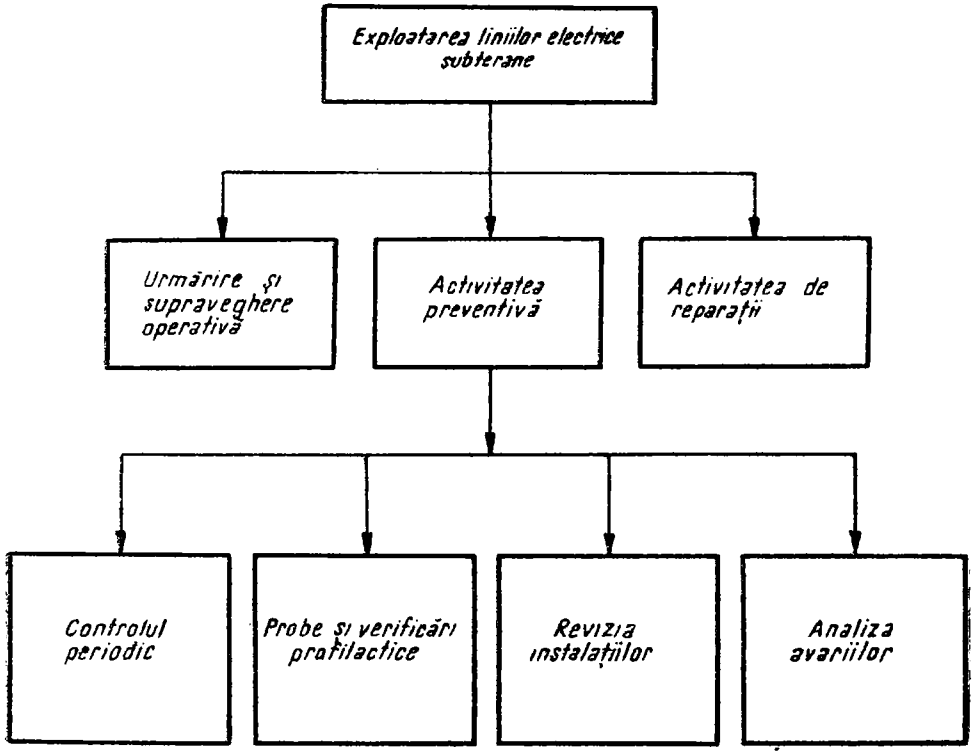



Fig. 4.16. Principalele activități în exploatarea liniilor electrice subterane.

capetelor de cablu la instalații etc.) a armăturilor de fixare și a canalelor de cabluri.

Cînd condițiile de funcționare ale sistemului energetic impun, personalul de exploatare execută manevrele programate sau accidentale ale liniilor electrice subterane.

În cazul în care nu există personal de exploatare permanent în stații, controlul regimului de funcționare a liniilor electrice subterane, controlul stării instalațiilor și efectuarea manevrelor se execută de echipe specializate, la periodicitatea stabilită de conducerea exploatării sau ori de cîte ori sînt necesare.

Măsurările de sarcini și tensiuni la cablurile care nu intră în stații sau posturi de transformare se fac periodic de echipe specializate.

## 2. Activitatea preventivă în exploatarea liniilor electrice subterane

Activitatea de prevenire a defecțiunilor și a întreruperilor în funcționare a liniilor electrice subterane este orientată după următoarele direcții principale :

— controlul periodic al liniilor în funcțiune ;
— analiza incidentelor și a avariilor ;
— probe și verificări profilactice ;
— revizia și întreținerea liniilor.

Prin această activitate, care se desfășoară cu instalațiile în funcțiune sau cu scoaterea acestora de sub tensiune, se depistează o serie de defecțiuni care pot fi remediate în mod organizat.

**Controlul periodic al liniilor în funcțiune.** În controlul periodic al liniilor electrice subterane se urmărește : traseul liniei pentru a se verifica stabilitatea terenului și a se sesiza eventualele lucrări noi ce se execută pe traseul liniei ; integritatea traversărilor și a canalelor de cabluri ; starea cablurilor și a suporturilor, precum și inscripțiile pentru manșoane și cabluri. De asemenea, se observă starea cutiilor terminale și a contactelor.

În cadrul controlului periodic se analizează datele și evidențele din stațiile de transformare referitoare la liniile subterane.

Controlul periodic se execută cu instalațiile în funcțiune de către personal specializat și instruit corespunzător, cu respectarea tuturor prevederilor de protecție și securitate a muncii.

Neregulile și defecțiunile constatate în timpul controlului vor fi aduse la cunoștința conducerii exploatării pentru a fi remediate.

**Analiza incidentelor și a avariilor.** O analiză sistematică și permanentă a defecțiunilor din liniile electrice subterane — evidențiate în fișa de urmărire a comportării cablurilor permite tragerea unor concluzii privind :

— calitatea materialelor, a aparatelor și a instalațiilor ;

— calitatea muncii personalului de exploatare ;

— punctele slabe din instalații, cauzele care le generează, precum și măsurile ce trebuie luate pentru evitarea acestora în viitor ;

— necesitatea unor lucrări de reparații și modernizări ;

— îmbunătățirea tehnologiilor de construcție și exploatare a liniilor electrice subterane ;

— orientarea cercetării și proiectării în acest domeniu ;

— îmbunătățirea organizării exploatării.

Personalul însărcinat cu analiza incidentelor și a avariilor trebuie să aibă o pregătire și experiență corespunzătoare pentru a lămuri și explica fenomenele complexe care intervin și pentru a propune măsurile corespunzătoare ce urmează a fi luate.

**Încercări și verificări profilactice.** Încercările și verificările profilactice constituie metode de mare eficacitate în activitatea de prevenire a deranjamentelor. Ele scot la iveală punctele slabe din izolația cablurilor, care ar putea să provoace avarii în timpul exploatării.

În cadrul activității de prevenire a deranjamentelor la liniile electrice subterane se execută încercarea cu tensiune mărită a cablurilor de medie tensiune și măsurarea rezistenței de izolație.

*Încercarea cu tensiune mărită* se face în curent continuu redresat folosindu-se instalații cu diode de înaltă tensiune. Cînd cablul supus acestei încercări are puncte cu izolație slăbită, izolația va fi străpunsă în timpul încercării în locurile respective.

În tot timpul încercării se măsoară tensiunea aplicată și curentul de fugă. Curentul de fugă se măsoară în circuitul de înaltă tensiune.

Cablul supus încercării se consideră bun cînd :

— nu apare străpungerea izolației în timpul încercării ;

— curentul de fugă nu prezintă șocuri în timpul aplicării tensiunii de încercare și nu depășește o anumită valoare ;

— cablul rămîne încărcat cu curent capacitiv după întreruperea alimentării de la sursa de încercare;

— asimetria curenților de fugă nu este mai mare de doi.

În cazul în care izolația cablurilor este străpunsă în timpul încercării, trebuie identificat imediat punctul de defect și apoi reparat cablul.

*Măsurarea rezistenței de izolație a cablurilor* se face o dată pe an folosindu-se megohmmetrul. Pentru cablurile de 1 kV se folosește megohmmetrul de 0,5 sau 1 kV, iar pentru cablurile cu tensiunea mai mare de 1 kV se folosește megohmmetrul de 2,5 kV. Cablul de 1 kV are izolația corespunzătoare cînd rezistența de izolație este de cel puțin 1 MΩ, iar cablurile de 6—10 kV trebuie să aibă rezistența de izolație de minimum 50 MΩ.

Rezistența de izolație a cablurilor se măsoară obligatoriu înainte și după încercarea cu tensiune redresată mărită.

**Revizia liniilor electrice subterane.** Revizia liniilor electrice subterane se execută în același timp cu revizia stațiilor electrice de transformare, a punctelor de alimentare, a posturilor de transformare și la periodicitățile stabilite pentru aceasta.

Revizia liniilor electrice subterane are drept scop, constatarea stării cablurilor, a manșoanelor și a cutiilor terminale, a canalelor de cabluri și a subtraversărilor, precum și remedierea unor mici defecțiuni survenite în timpul exploatării.

Cu ocazia reviziei se execută încercarea preventivă cu tensiune mărită a liniilor electrice subterane și se verifică starea izolației pe fază.

În cazul în care, la revizie, se constată anumite defecțiuni care nu pot fi remediate în timpul acordat, cum sînt, de exemplu, cutiile terminale care au pierderi de masă izolantă, cablurile cu coroziuni avansate etc. acestea sînt semnalate conducerii unității pentru programarea reparațiilor.

### 3. Repararea liniilor electrice subterane

Reparația unei linii electrice subterane constă, în general, din următoarele:

— refacerea cutiilor terminale care pierd masă izolantă sau a celor care se defectează în timpul exploatării sau în timpul încercărilor;

— refacerea manșoanelor de înnădire atunci cînd acestea se defectează în timpul exploatării sau în timpul încercărilor;

— înlocuirea unei porțiuni de cablu defect cu executarea manșoanelor de înnădire corespunzătoare.

Lucrările de reparații încep numai după identificarea locului defect, după îndeplinirea tuturor formalităților și scoaterea de sub tensiune a cablului, după luarea tuturor măsurilor de protecție a muncii și îndeplinirea formalităților de admitere la lucru.

Repararea elementelor defecte dintr-o linie electrică subterană se face conform prevederilor fișei tehnologice care cuprinde ordinea cronologică a operațiilor ce se execută, sculele și aparatele necesare, formația de lucru cu structura de calificare, precum și încercările și verificările ce trebuie efectuate după reparații.

## 4. Determinarea punctului de defect în cabluri

În cazul în care o linie electrică subterană se defectează (defectele pot fi pe cabluri sau la manșoanele de înnădire) trebuie determinat prin măsurări, cît mai rapid și cît mai exact, punctul de defect, pentru a se face săpături cît mai reduse și a se înlătura defectul în timpul cel mai scurt.

Principalele metode folosite la determinarea punctului de defect în linii subterane sînt:

— măsurarea rezistenței conductorului defect al cablului;
— măsurarea capacității conductorului defect al cablului;
— metode bazate pe fenomenul inducției electromagnetice.

**Măsurarea rezistenței conductorului defect al cablului.** Metoda de determinare a punctului de defect în cabluri prin măsurarea rezistenței conductorului defect folosește puntea de curent continuu a cărei schemă este reprezentată în figura 4.17.

În vîrful *a* al punții se leagă un capăt al unui conductor bun al cablului, iar în vîrful *b* se leagă capătul conductorului defect. La capătul opus al cablului, cele două conductoare se scurtcircuitează prin intermediul unui conductor. Astfel cele patru ramuri ale punții sînt formate din patru rezistențe $R_1$, $R_2$, $R_L$ și $R_x$.

Măsurarea rezistenței conductorului defect se face reglîndu-se rezistențele $R_1$ și $R_2$ pînă cînd acul galvanometrului $G$ indică zero. În acest moment puntea este echilibrată și se pot scrie egalitățile:

$$\begin{aligned} R_1 I_1 &= R_2 I_2 \\ R_L I_1 &= R_x I_2 \end{aligned} \qquad (4.1)$$

din care rezultă:

$$\frac{R_1}{R_L} = \frac{R_2}{R_x} \quad \text{sau} \quad \frac{R_1 + R_2}{R_L + R_x} = \frac{R_2}{R_x},$$

de unde:

$$R_x = \frac{R_2}{R_1 + R_2}(R_L + R_x). \qquad (4.2)$$

Deoarece rezistențele conductoarelor cablului sînt proporționale cu lungimile lor, se poate scrie:

$$L_x = 2L\frac{R_2}{R_1 + R_2}, \qquad (4.3)$$

în care $L$ reprezintă lungimea cablului și care se presupune cunoscută.

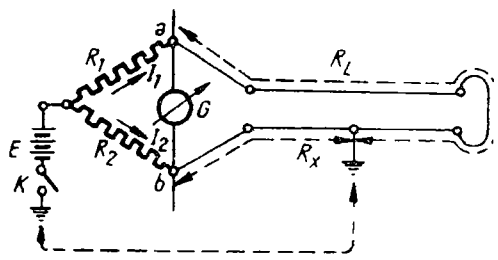



Fig. 4.17. Localizarea defectului cu ajutorul punții de curent continuu.

Pentru a nu se introduce erori de măsurare, este necesar ca legăturile la bornele punții să se facă prin conductoare cît mai scurte, deci de rezistențe neglijabile.

**Măsurarea capacității conductorului defect al cablului.** În cazul defectelor de întrerupere de fază la un cablu, punctul de defect se determină cu o punte care măsoară capacitatea conductorului defect față de pământ. Puntea este alimentată în curent alternativ, avînd — pentru echilibrare — o cască $T$ sau un indicator de zero. Cînd se realizează echilibrul punții, zgomotul din cască dispare.

Lungimea cablului pînă la punctul de defect se calculează cu relația:

$$L_x = \frac{C_x}{C_0},$$

în care $C_0$ este capacitatea specifică a cablului.

În figura 4.18 este reprezentată schema de montaj a punții de curent alternativ.

**Metode bazate pe fenomenul inducției electromagnetice.** Pentru determinarea punctului de defect la cabluri, în special în cazurile în care nu se cunoaște traseul cablului, se utilizează așa-numitele căutătoare de defecte în cabluri, care se bazează pe fenomenul de inducție electromagnetică. Acestea se compun dintr-un generator special de curent alternativ $G$, de frecvență muzicală (circa 800 Hz) care alimentează cablul defect, și un receptor acordat pe această frecvență, prevăzut cu o antenă direcțională. Cu ajutorul acestei antene se poate identifica traseul cablului și punctul de defect.

Principiul de funcționare al unui astfel de aparat rezultă din figura 4.19. În casca telefonică a receptorului se aude un sunet caracteristic numai cînd antena direcțională este plimbată pe traseul cablului și numai pînă la punctul de defect. Dincolo de acest punct, nemaitrecînd curent prin cablu, nu se mai aude nici un sunet în casca telefonică.

Căutătorul de defect este un aparat foarte bun și expeditiv, cu condiția ca puterea emițătorului să fie suficient de mare și să nu existe zgomote perturbatoare. Pentru o mai mare precizie în determinarea punctului de defect este bine să se facă măsurări din ambele capete ale cablului defect.

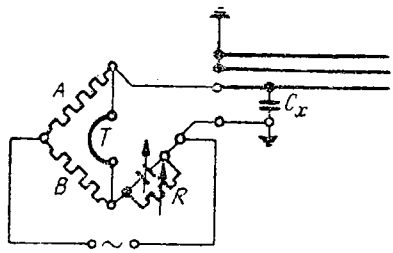



Fig. 4.18. Localizarea defectului cu ajutorul punții de curent alternativ.

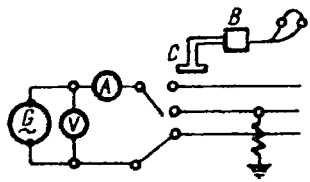



Fig. 4.19. Localizarea defectului cu metoda inducției.

Capitolul 5

# LINII ELECTRICE SUBTERANE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Liniile electrice subterane de înaltă tensiune (de 110 kV și peste) se folosesc pentru transportul și alimentarea cu energie electrică a unor consumatori mari din cadrul platformelor industriale sau din cadrul unor centre industriale importante, pentru alimentarea stațiilor electrice de transformare amplasate în centrele de greutate ale consumatorilor, avînd în același timp toate avantajele și dezavantajele liniilor electrice subterane, enunțate la capitolul 4.

Se folosesc, de asemenea, în centralele electrice pentru realizarea unor legături simple și economice între grupurile generator-transformator și barele stațiilor de 110 sau 220 kV.

În unele cazuri, traversarea unei linii de înaltă tensiune peste un fluviu este mai simplă și mai ușor de executat cu ajutorul unui cablu subfluvial decît o traversare aeriană.

## A. ELEMENTELE COMPONENTE ALE LINIILOR ELECTRICE SUBTERANE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Liniile electrice subterane de înaltă tensiune au pe lîngă elementele componente ale liniilor electrice subterane de joasă tensiune și instalații care asigură circulația uleiului sau gazului.

### 1. Cabluri electrice de energie

Cablurile electrice de înaltă tensiune se execută pentru tensiunile 110—750 kV. Principalele variante sînt următoarele:

— cabluri monofazate cu canal central pentru circulația uleiului de joasă și medie presiune (1—5 atm) pentru 110—380 kV;

— cabluri monofazate cu canal central pentru circulația uleiului la presiune înaltă (15 atm) pentru 110—380 kV;

— cabluri trifazate cu canale pentru circulația uleiului sub presiune înaltă (15 atm), pentru tensiuni pînă la 750 kV.

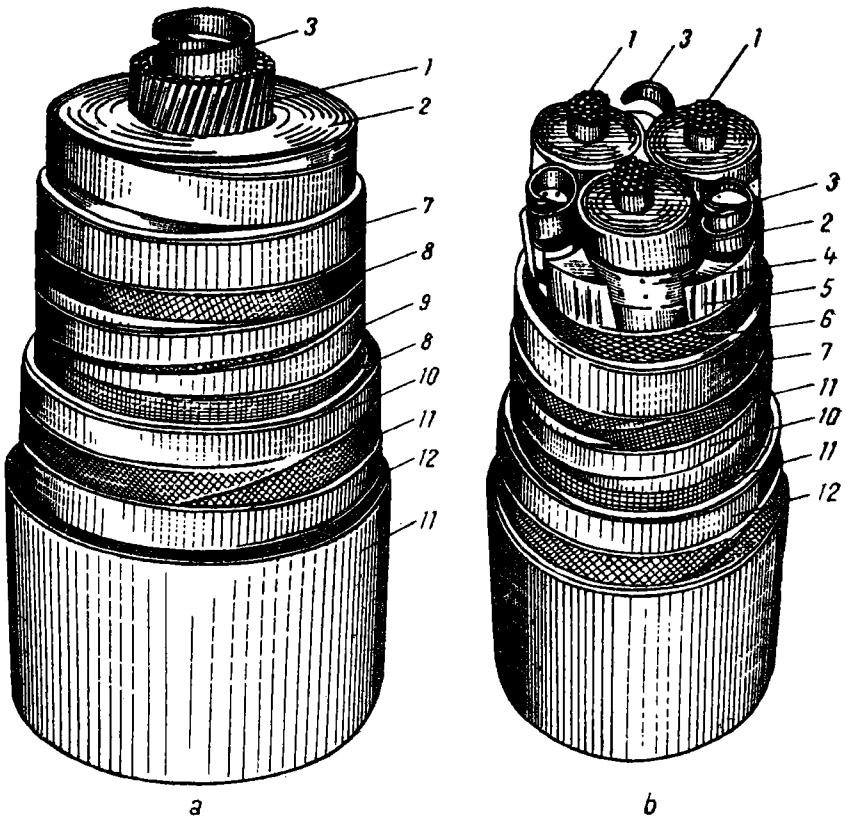



Fig. 5.1. Cabluri cu circulație de ulei de 110 kV :

*a* — monofazat; *b* — trifazat;
1 — conductor electric ; 2 — izolație de hîrtie impregnată ; 3 — canal elicoidal pentru circulația uleiului ; 4 — ecran de hîrtie metalizată ; 5 — umplutură de hîrtie ; 6 — înveliș de hîrtie pentru consolidarea construcției cablului; 7 — înveliș protector de plumb sau aluminiu; 8 — ecran semiconductor ; 9 — înveliș de hîrtie ; 10 — înveliș protector metalic din două benzi de armare ; 11 — înveliș protector de iută ; 12 — înveliș protector de hîrtie.

Cablurile de 110 kV folosite în țara noastră sînt cabluri monofazate cu izolație de hîrtie de o calitate superioară, impregnată cu ulei foarte fluid, care circulă în interiorul cablului, în funcție de starea termică a acestuia. În acest scop, cablurile sînt prevăzute cu unul sau mai multe canale longitudinale, care asigură circulația uleiului. La o ridicare a temperaturii cablului, provocată de creșterea sarcinii, uleiul se dilată. Surplusul de ulei iese din cablu prin canalele longitudinale și este preluat de niște vase speciale de expansiune, prevăzute în acest scop la capetele cablului sau pe traseu. La răcirea cablului, vasele de expansiune asigură împingerea uleiului în cablu, pe aceleași canale. În acest fel se asigură continuitatea mediului impregnant, în orice moment al exploatării.

În figura 5.1 sînt reprezentate un cablu cu circulație de ulei de 110 kV monofazat și unul trifazat, iar în figura 5.2 o secțiune printr-un cablu subteran de 110 kV.

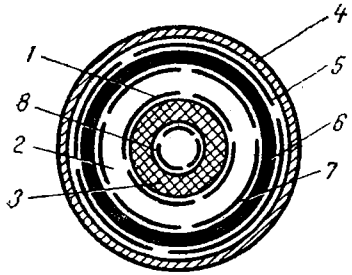



Fig. 5.2. Secțiune printr-un cablu subteran de 110 kV :
*1* — bandă de hîrtie carbon ; *2* — izolație de hîrtie uleiată ; *3* — conductor de cupru ; *4* — cămașă de PCV ; *5* — benzi de cupru ; *6* — cămașă de plumb ; *7* — bandă de hîrtie metalizată ; *8* — benzi de oțel pentru canalul central.

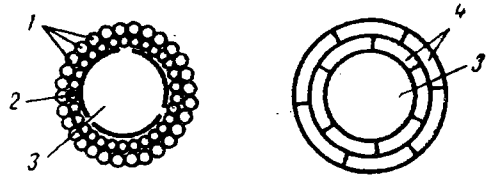



Fig. 5.3. Tipuri constructive de conductoare :
*1* — sîrme de cupru ; *2* — benzi metalice ; *3* — canal central ; *4* — segmente profilate de cupru.

Conductoarele cablurilor sînt formate din două straturi de sîrmă de cupru, așezate circular împrejurul canalului central alcătuit dintr-o bandă de oțel dispusă în spirală sau din segmente de cupru profilate și înfășurate în spirală în jurul canalului central (fig. 5.3).

Pe conductorul de cupru se pune un strat de hîrtie-carbon semiconductoare, peste care se aplică izolația formată din benzi de hîrtie înfășurate uniform și compact cu grosimea de 8—9 mm. Peste stratul de izolație se aplică o ecranare realizată din hîrtie metalizată.

După uscarea izolației se acoperă cablul cu o cămașă de plumb cu grosimea de 2 mm, se extrage apoi aerul și gazul din cablu și se impregnează cu ulei.

Pentru a se proteja cămașa de plumb contra presiunilor interioare ale uleiului, peste ea se aplică o armătură executată din două benzi de cupru tare, cu grosimea de 0,3 mm și lățimea de 10 mm, înfășurate strîns pe cămașa de plumb, într-un singur strat și distanțate între ele cu 2 mm.

Protecția anticorosivă a cablului se realizează printr-un înveliș special de material plastic care asigură și o perfectă impermeabilitate.

## 2. Manșoane

Pentru o linie electrică subterană de înaltă tensiune se utilizează trei tipuri de manșoane :

— *manșoane de înnădire normale,* care asigură continuitatea electrică a cablurilor și continuitatea canalelor prin care circulă uleiul ;

— *manșoane de legătură și alimentare,* care sînt asemănătoare cu manșoanele normale de înnădire, dar sînt prevăzute cu posibilitatea legării cablului la unul sau la mai multe rezervoare de alimentare cu ulei ;

— *manșoane de oprire,* care asigură continuitatea electrică, dar oprește trecerea uleiului dintr-un tronson de cablu în celălalt, chiar dacă presiunea uleiului este diferită pe cele două părți ale manșonului.

Ele permit, de asemenea, legarea celor două tronsoane de cabluri la două grupe diferite de rezervoare de alimentare cu ulei.

Manşoanele de oprire se folosesc la linii electrice subterane cu traseul în pantă, cu rolul de a împărţi linia în porţiuni în care presiunea interioară a uleiului să nu depăşească limitele admisibile pentru fiecare cablu.

### 3. Cutii terminale şi accesorii

**Cutiile terminale** permit scoaterea conductoarelor cablurilor în exterior şi racordarea lor la barele staţiilor sau a punctelor de conexiuni pentru linii (la traversări). Prin intermediul cutiilor terminale se asigură şi alimentarea cablurilor cu ulei.

**Accesoriile** liniilor subterane de înaltă tensiune sînt următoarele :

— *rezervoarele de alimentare,* care preiau variaţiile de volum ale uleiului, provocate de încălzirea şi răcirea cablurilor şi asigură alimentarea cu ulei a cablurilor, în condiţii normale de funcţionare, precum şi în cazul unor defecţiuni ale cablului cu pierderi de ulei. Rezervoarele sînt de două tipuri : rezervoare cu expansiune liberă (presiune constantă) şi rezervoare de presiune (presiune variabilă) ;

— *instalaţiile de supraveghere şi semnalizare a presiunii sau a nivelului de ulei.* Ele se compun, în general, din manometre sau indicatoare de nivel cu contacte care, prin intermediul unor cabluri, transmit semnale la un tablou central de semnalizare.

În figura 5.4 este reprezentată dispoziţia generală a unei linii electrice subterane cu mai multe tronsoane de cablu, legate între ele prin manşoane normale de înnădire şi manşoane de oprire, dat fiind traseul în pantă al liniei.

La cutiile terminale şi la manşoanele de oprire sînt racordate rezervoarele de alimentare şi expansiune.

## B. CONSTRUCŢIA LINIILOR ELECTRICE SUBTERANE

Construcţia liniilor electrice subterane se face conform instrucţiunilor tehnologice şi prevederilor din proiect şi constă din pozarea cablurilor şi din montarea manşoanelor normale de înnădire, a manşoanelor de oprire, a cutiilor terminale, precum şi a accesoriilor.

Pozarea cablurilor de înaltă tensiune se face direct în pămînt sau în canale speciale.

La execuţia liniilor electrice subterane de înaltă tensiune sînt o serie de prevederi şi măsuri suplimentare faţă de cele arătate la liniile de medie tensiune.

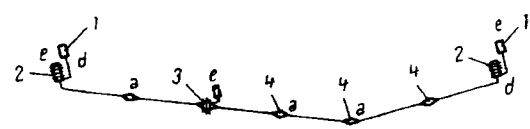



Fig. 5.4. Linie în cablu subteran : *1* — rezervoare de alimentare ; *2* — cutie terminală ; *3* — manşon de oprire ; *4* — manşoane de legătură.

## 1. Transport și manipulare

Cablurile cu circulație de ulei sînt înfășurate pe tambure metalice speciale cu diametrul de 3—3,2 m. Dat fiind diametrul mare al tamburelor, acestea se transportă cu vagoane sau trailere speciale.

Deoarece izolația cablurilor, din momentul fabricării și pînă la montarea și darea lor în exploatare, trebuie să fie menținută într-o perfectă stare de impregnare, la orice variație a temperaturii mediului ambiant, fiecare tambur de cablu este prevăzut din fabrică cu cîte un rezervor de alimentare sub presiune (1,8—2 atm), montat în interiorul acestuia. Ambele capete ale cablului sînt racordate, prin piese speciale, la acest rezervor.

Pe durata transportului și depozitării cablului, tamburele vor avea montate protecții din scînduri de lemn, pentru a se evita orice posibilitate de deteriorare a cablurilor.

## 2. Condiții generale la pozarea cablurilor

Pentru a se asigura calitatea necesară la executarea unei linii în cablu trebuie respectate o serie de condiții.

Traseele cablurilor de înaltă și foarte înaltă tensiune cu circulație de ulei se vor alege astfel, încît să se poată realiza *o amplasare cît mai rațională a rezervoarelor de alimentare și a instalațiilor anexe*, în conformitate cu recomandările furnizorului. Condițiile de pozare, specifice fiecărei lucrări în parte, trebuie să fie bine cunoscute de furnizorul cablului, înainte de punere în fabricație a acestora. În acest scop, este bine ca delegații furnizorului, împreună cu proiectantul liniei să examineze pe teren traseul, stabilind locurile de amplasare a manșoanelor, numărul și lungimea tronsoanelor de cablu, precum și construcțiile ce urmează a se executa pentru amplasarea manșoanelor și rezervoarelor de alimentare.

• Raza minimă admisă atît la manevrarea cît și la pozarea cablurilor monofazate cu circulație de ulei este de douăzeci și cinci de ori diametrul exterior al cablului.

• La folosirea cablurilor monofazate trebuie să se asigure următoarele condiții:

— o distribuție simetrică a sarcinilor pe cele trei faze, prin egalizarea impedanțelor;

— tensiune față de pămînt, indusă în învelișurile metalice nelegate la pămînt și care sînt accesibile atingerii, trebuie să nu depășească în nici un caz 40 V;

— împrejurul cablului trebuie să nu existe circuite magnetice închise, formate de armăturile de oțel din beton, brățări sau alte piese similare din material feromagnetic.

• In cazul liniilor în cablu lungi de cîțiva kilometri, este necesar ca în unele manșoane să se efectueze rotiri de fază pentru a se obține:

— reducerea tensiunilor induse în cablurile de telecomunicații pozate pe trasee paralele și la mică distanță;

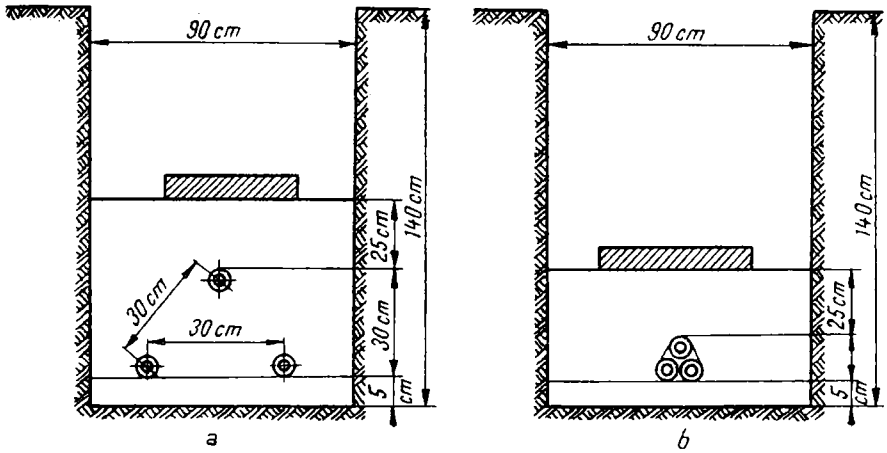



Fig. 5.5. Variante de așezare a cablurilor de înaltă tensiune în șanț :
*a* — cu vîrfurile în triunghi echilateral cu latura de 30 cm ; *b* — în pachet.

— asigurarea unei circulații de curenți practic egali în cele trei cămăși de plumb.

• Distanțele pentru cablurile de 110 kV și mai mari, pozate în pămînt, paralel cu cabluri de aceeași tensiune sau cu cablurile telefonice, trebuie să fie de minimum 4 m în lipsa unor indicații speciale date de furnizor.

• Profilul șanțului și așezarea în șanț a cablurilor sînt date în figura 5.5. În această figură se observă cele două variante de așezare a cablurilor în șanț, în vîrfurile unui triunghi echilateral cu latura de 30 cm (fig. 5.5, *a*), sau în vîrfurile unui triunghi echilateral cu latura egală cu diametrul cablurilor (așezare pachet — fig. 5.5, *b*).

*Pozarea cablurilor și efectuarea profilurilor*

Desfășurarea și pozarea cablurilor se poate efectua manual sau mecanizat. După săparea șanțului, se așază pe fundul șanțului rola de derulat cablul, la intervale de 2—2,5 m după care derularea și pozarea se face conform instrucțiunilor tehnologice. O atenție deosebită trebuie acordată, înainte de începerea derulării și pozării cablului, presiunii uleiului în cablu care trebuie să nu fie mai mică decît 1,8—2 atm.

După desfășurarea și pozarea primelor două cabluri monofazate, se evacuează din șanț rolele, iar cablurile se așază pe fundul șanțului, paralele și distanțate cu 30 cm. Peste aceste cabluri se așterne un strat de 5 cm de pămînt vegetal, curat, mărunțit și cernut cu ciurul. Se ridică apoi cu mîna cele două cabluri pînă deasupra stratului de pămînt cernut, așezîndu-le din nou, paralel, la distanța de 30 cm.

Se așterne peste cele două cabluri un nou strat de pămînt cernut cu grosimea de 30 cm care se calcă bine cu picioarele. Se desfășoară cel de-al treilea cablu și se așază în axul șanțului. Peste acesta se așterne un nou strat de pămînt cernut cu grosimea de 25 cm și se calcă bine cu picioarele. Pentru asigurarea protecției mecanice a cablurilor, peste ultimul strat de pămînt se așază plăci prefabricate de beton armat de 60 × 50 × 5 cm.

Pentru varianta de așezare în pachet a cablurilor (fig. 5.5, *b*) se pozează cele două cabluri pe fundul șanțului, se așterne pământul vegetal peste acestea, cu o grosime de 5 cm și se ridică cele două cabluri deasupra pământului, așezîndu-le unul lîngă celălalt. Se pozează apoi cel de-al treilea cablu, se așază peste cele două cabluri și se fixează în pachet, din doi în doi metri, cu ajutorul unor benzi metalice.

Peste pachetul de cabluri astfel format, se așterne un strat de pământ cernut cu grosimea de 25 cm și se calcă bine cu picioarele. Pentru asigurarea protecției mecanice a cablurilor se așază peste pământ plăcile prefabricate din beton armat.

Astuparea apoi cu pământ a șanțurilor se face manual în straturi succesive cu grosimea de 20 cm, bine bătătorite cu maiul.

Pentru pozarea cablurilor la traversările subfluviale trebuie să se respecte prevederile speciale date de proiectant și cele cuprinse în fișele tehnologice.

## C. EXPLOATAREA LINIILOR ELECTRICE SUBTERANE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

O exploatare corectă și economică a liniilor electrice subterane de înaltă tensiune cere din partea personalului de exploatare asigurarea acelorași activități ca și pentru liniile electrice subterane de medie tensiune, precizate în capitolul 4, *C*.

Dată fiind importanța liniilor electrice subterane de înaltă tensiune în cadrul rețelei electrice de transport de energie, precum și cerințele tehnice și tehnologice, se impune o atenție deosebită în exploatarea acestor instalații energetice.

### 1. Verificări, încercări și probe necesare punerii în funcțiune a liniilor electrice subterane

Înaintea punerii în funcțiune a unei linii electrice subterane de înaltă tensiune, personalul de exploatare responsabil trebuie să efectueze o serie de verificări și încercări pentru atestarea calității execuției și a materialelor utilizate.

Principalele verificări se referă la :

— proiectele de execuție ale lucrării, avizele obținute și încadrarea documentelor în condițiile impuse de aceste avize ;

— planul de situație al traseului cablului, pus în concordanță cu realitatea din teren și cu indicarea tuturor manșoanelor și a distanțelor față de reperele fixe ;

— certificatele de calitate ale cablurilor și ale celorlalte materiale utilizate ;

— buletinele de încercări ale cablurilor, uleiului și ale celorlalte elemente componente ;

— verificarea mostrelor de cabluri.

Sînt necesare, de asemenea, o serie de măsuri și încercări cum sînt:

— măsurarea rezistenței termice a solului;

— măsurarea rezistenței de izolație, încercarea cu tensiune mărită și măsurarea curenților de fugă;

— stabilirea și identificarea fazelor;

— ridicarea imaginii cablului cu locatorul de defecte.

Tot în obligațiile personalului de exploatare intră și urmărirea calității lucrărilor în timpul execuției și în mod deosebit asupra:

— asigurării alimentării cu ulei a cablului în timpul derulării și pozării acestuia;

— respectării instrucțiunilor tehnologice și prescripțiilor fabricii la pozarea cablului și la subtraversări de drumuri și căi ferate;

— funcționării instalațiilor de semnalizare a presiunii uleiului;

— verificărilor și măsurărilor necesare în perioada de execuție.

## 2. Încercări și verificări profilactice

Un aspect deosebit în această activitate pentru liniile electrice subterane de înaltă tensiune, îl prezintă *încercarea izolației cablului cu tensiunea mărită.*

Valorile tensiunilor de încercare a cablurilor cu tensiune redresată și a timpului de probă sînt date în tabelul 5.1.

*Tabelul 5.1*

**Valorile tensiunilor de încercare și timpul de probă**

| Tensiunea de încercare a cablurilor kV | | Timpul de probă al fiecărei faze min |
|---|---|---|
| 110 | 220 | |
| 300 | 450 | 10—15 |

În zonele în care există pericol de coroziune, prin curenți de dispersie, este necesară măsurarea diferenței de potențial dintre mantaua de plumb a cablului și pămînt. Cînd măsurarea scoate în evidență existența unui potențial pozitiv, aceasta indică clar existența condițiilor de apariție a fenomenului de coroziune. Chiar în cazul unui potențial negativ, trebuie efectuate determinări suplimentare asupra celorlalți factori care conduc la apariția fenomenului de coroziune, pentru evitarea acestora.

## 3. Repararea liniilor electrice subterane de înaltă tensiune

Tehnologiile de reparare la aceste lucrări cer o serie de condiții specifice, și anume:

— existența unui personal calificat, școlarizat la întreprinderile furnizoare și care a participat la lucrările de execuție a liniilor;

— existența materialelor de calitate, menținute în bună stare și verificarea periodică a calității acestora ;

— existența sculelor și dispozitivelor necesare efectuării lucrărilor de reparare.

În cadrul fiecărei întreprinderi, care are în exploatare astfel de linii, trebuie să existe instrucțiuni tehnice interne și fișe tehnologice specifice acestor lucrări.

Toate problemele de exploatare legate de : urmărirea funcționării instalațiilor, controlul, analiza avariilor, revizii, tratate în capitolul 4, *C* se aplică și la liniile electrice subterane de înaltă tensiune cu adaptările necesare precizate prin instrucțiuni tehnice interne.

## 4. Măsuri de protecție a muncii la liniile electrice subterane

Atît activitatea de montaj la liniile electrice subterane cît și activitatea de exploatare a acestora impun luarea tuturor măsurilor de protecție a muncii necesare asigurării securității integrale a personalului.

Măsurile de protecție a muncii sînt stabilite prin norme, regulamente și instrucțiuni pentru fiecare categorie de instalație.

Pentru execuția liniilor electrice subterane, măsurile de protecție a muncii se încadrează în principal în următoarele categorii :

— măsuri generale care se referă la nivelul de pregătire, perfecționare și instruire a personalului la depozitarea materialelor, dirijarea circulației publice pe străzile unde se montează cablurile sau la traversări și la indicatoare și semnalizări specifice ;

— măsuri necesare la săparea șanțurilor ;

— măsuri pentru transportul și pozarea cablurilor ;

— măsuri la efectuarea manșoanelor ;

— măsuri speciale la racordarea cablurilor la instalații.

Pentru lucrări ce se execută în instalații sub tensiune cu scoatere parțială sau totală de sub tensiune sînt necesare :

— măsuri tehnice de securitate cuprinzînd scoaterea de sub tensiune, montarea plăcuțelor de avertizare și îngrădirea locului de muncă, verificarea lipsei de tensiune și montarea garniturilor mobile de scurtcircuitare ;

— măsuri organizatorice privind întocmirea dispoziției de lucru, formele de admitere la lucru, supravegherea în timpul lucrului și îndeplinirea formalităților pentru întreruperea lucrărilor.

Capitolul 6

# EXECUTAREA LUCRĂRILOR ÎN INSTALAȚIILE ELECTRICE AFLATE SUB TENSIUNE

Pentru menținerea gradului de siguranță în funcționare a instalațiilor electrice sînt necesare o serie de lucrări de întreținere și reparații și care se realizează, de regulă, după ce acestea au fost retrase din exploatare.

Retragerea din exploatare a instalațiilor electrice conduce la întreruperea în alimentare a consumatorilor, la micșorarea gradului de siguranță în alimentarea consumatorilor (cînd aceștia au două sau mai multe căi de alimentare) și la creșterea consumului tehnologic în rețelele electrice.

Pentru evitarea acestor neajunsuri, se caută noi metode de lucru, noi tehnologii, care să permită executarea unor lucrări la instalațiile electrice fără scoaterea acestora de sub tensiune, deci executarea de lucrări sub tensiune.

Executarea lucrărilor sub tensiune ridică numeroase și importante probleme legate de pregătirea și executarea acestora, realizarea de noi utilaje, pregătirea și formarea personalului, precum și asigurarea unor materiale speciale, adaptate tehnicilor de lucru sub tensiune. Pentru evitarea oricărui risc în cazul executării lucrărilor sub tensiune, sînt necesare studii și cercetări pentru stabilirea metodelor potrivite și a condițiilor tehnice și de calitate corespunzătoare. Severitatea măsurilor ce trebuie luate în cazul lucrului sub tensiune este impusă de riscul electric, care se suprapune peste alte riscuri date de lucrul la înălțime, manipulări și altele.

## A. METODA DE LUCRU ȘI PRINCIPALELE LUCRĂRI CE SE POT EXECUTA SUB TENSIUNE

### 1. Metodele de lucru sub tensiune

Clasificarea metodelor de lucru sub tensiune se face în funcție de nivelul de tensiune al instalației și de mijloacele folosite pentru protejarea personalului și evitarea scurtcircuitelor. Astfel, metodele se împart în trei categorii și anume:

— metoda de lucru în contact direct cu instalațiile;
— metoda de lucru la distanță față de instalații;
— metoda de lucru la potențialul instalației.

**Lucrul în contact direct cu instalaţiile.** Această metodă este indicată pentru lucrările ce se execută în reţeaua aeriană şi subterană de joasă tensiune. Executantul se izolează de conductorul la care se lucrează prin intermediul unor mijloace corespunzătoare cu care se echipează, cum sînt: mănuşi izolante, cizme izolante, haină şi cască izolante. Pentru executarea lucrării se folosesc scule izolate şi ochelari de protecţie. De asemenea, executantul mai utilizează covoraşe de cauciuc, podeţe şi scări izolante.

Lucrarea se execută după tehnologia clasică, pe cîte un conductor de fază, celelalte faze fiind izolate provizoriu pe o lungime determinată, precizată în instrucţiunile tehnice.

Cei ce lucrează sub tensiune trebuie să aibă grijă ca toate mijloacele şi sculele izolante să fie în perfectă stare şi cu buletine de verificare la zi.

**Lucrul la distanţă faţă de instalaţii.** Metoda se utilizează la lucrări sub tensiune în reţelele de medie şi înaltă tensiune. Executantul lucrează de pe sol sau de pe un suport, cu ajutorul sculelor fixate în capătul unor prăjini izolante, speciale, cu lungimi corespunzătoare tensiunii reţelei. Şi în acest caz executantul este echipat cu cască şi haine de protecţie, cu mănuşi şi cizme izolante. Atît prăjinile cît şi materialele izolante folosite trebuie să fie verificate şi încercate conform normelor şi controlate înainte de utilizare pentru a fi în bună stare. De asemenea, înainte de începerea lucrului se controlează calitatea sculelor şi modul de fixare a acestora în capătul prăjinilor izolante.

**Lucrul la potenţialul instalaţiei.** Metoda se foloseşte pentru executarea lucrărilor sub tensiune, la liniile electrice aeriene cu tensiune de 110—400 kV.

Metoda constă în realizarea unor izolări faţă de pămînt şi aducerea suportului de lucru al executantului la acelaşi potenţial cu conductorul liniei la care se lucrează. Executantul este aşezat într-o nacelă fixată la extremitatea unui suport ridicător izolant. Nacela trebuie legată electric cu conductorul unei faze. În acest fel, izolat faţă de pămînt şi de celelalte conductoare, executantul poate lucra fără pericol, pe conductorul la al cărui potenţial se află.

Şi în această metodă trebuie acordată grija cuvenită mijloacelor, sculelor şi dispozitivelor izolante, privind starea acestora, încercărilor şi verificărilor conform normelor.

## 2. Principalele lucrări ce se pot executa cu instalaţiile sub tensiune

Principalele lucrări ce se pot executa cu instalaţia sub tensiune sînt următoarele:

*La liniile electrice aeriene de joasă tensiune:*

— repararea branşamentelor;
— racordarea branşamentelor noi;
— înlocuirea izolatoarelor din linie;
— înlăturarea corpurilor străine din linie (sîrme, crengi, păsări).

*La liniile electrice subterane de joasă tensiune:*

— executarea unui manşon de derivaţie pe un cablu din reţea;
— executarea unui manşon de înnădire pe un cablu din reţea;
— dezlegarea unui branşament;
— racordarea unui branşament nou.

*La liniile electrice aeriene de medie tensiune :*
— schimbarea izolatoarelor, a clemelor și a armăturilor aferente ;
— înlocuirea stîlpilor ;
— controlul și revizia separatoarelor de pe stîlpi ;
— repararea conductoarelor.
*La liniile electrice aeriene de înaltă tensiune :*
— schimbarea lanțurilor de izolatoare ;
— înlocuirea clemelor de suspensie sau verificarea acestora ;
— repararea cordoanelor la stîlpii de întindere.

Se menționează că la toate categoriile de linii se pot efectua verificări și curățiri ale elementelor componente ale acestora.

## 3. Avantajele executării lucrărilor sub tensiune

Executarea lucrărilor sub tensiune prezintă următoarele avantaje :

— elimină întreruperile programate, necesare executării lucrărilor de întreținere și reparații cu scoatere de sub tensiune a instalațiilor electrice ;

— micșorează numărul de incidente și avarii în instalațiile electrice prin depistarea și înlăturarea punctelor slabe ale acestora cu instalațiile sub tensiune. Astfel, se îmbunătățește continuitatea în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor ;

— elimină riscurile datorită reapariției accidentale a tensiunii ;

— reduce costurile de exploatare prin eliminarea costurilor de manoperă și transport pentru scoaterea de sub tensiune a instalațiilor ;

— micșorează consumul tehnologic în rețelele electrice ;

— asigură executarea lucrărilor de întreținere și reparații în timpul normal de lucru.

## 4. Instrucțiuni generale privind executarea lucrărilor sub tensiune

Pentru executarea lucrărilor sub tensiune de bună calitate și fără riscuri, sînt necesare instrucțiuni care să precizeze concret măsurile generale și specifice fiecărei lucrări. Principalele măsuri generale, valabile pentru toate categoriile de lucrări și de instalații, sînt următoarele :

**Clasificarea instalațiilor în funcție de tensiunea de serviciu,** care impune măsuri și condiții tehnice specifice fiecărei trepte de tensiune. De regulă, această clasificare cuprinde trei categorii de instalații și anume :

— instalații de categoria I, pentru care valoarea nominală a tensiunii nu depășește 500 V în curent alternativ și 750 V în curent continuu ;

— instalații de categoria a II-a, pentru care tensiunea nominală este sub 50 kV ;

— instalații de categoria a III-a, pentru care tensiunea nominală depășește 50 kV.

**Analizarea și precizarea elementelor de structură ale instalațiilor electrice la care se vor executa lucrări sub tensiune.** Această măsură se impune

fiind legată de specificul și structura fiecărui sistem energetic național și de cerințele tehnico-economice ale fiecărui consumator.

**Formarea și autorizarea personalului.** Pentru executarea lucrărilor în instalațiile sub tensiune o problemă deosebit de importantă este aceea legată de formarea și autorizarea personalului. Nu este admis la lucru sub tensiune, sub nici un motiv, un executant care nu a fost pregătit special și nu este autorizat pentru categoria de lucrări respectivă.

La pregătirea personalului pentru lucru sub tensiune — care, de regulă, se face în centre speciale — trebuie pus accentul în principal pe următoarele :

— cunoașterea tehnologiilor legate de lucrul sub tensiune ;

— cunoașterea mijloacelor și materialelor de protecție, precum și modul de folosire ;

— cunoașterea condițiilor tehnice și organizatorice pe categorii de lucrări și structură de instalații ;

— cunoașterea dispozitivelor și sculelor de lucru, modul de folosire și condițiile de încercare și verificare ;

— efectuarea de exerciții în condițiile specifice lucrului sub tensiune, pentru asigurarea executanților a unor deprinderi și aptitudini strict necesare.

În perioada de formare a personalului pentru lucrul sub tensiune, sînt necesare vizite medicale complexe, care să certifice starea de sănătate fizică și psihică corespunzătoare cerințelor.

O atenție deosebită trebuie acordată centrelor de formare a personalului pentru lucrul sub tensiune, în domeniul dotării corespunzătoare a acestora cu instalații, aparataje, poligoane și instructori de calitate.

În privința autorizării personalului ce urmează să execute lucrări sub tensiune, se precizează :

— necesitatea autorizării de către cei în drept a fiecărui executant pentru o anumită categorie de lucrări și de instalații ;

— reautorizarea executantului în cazurile în care acesta schimbă locul de muncă, lipsește o perioadă de timp din serviciu, comite anumite greșeli și altele. O nouă autorizație se eliberează executantului numai după ce acesta a urmat o perioadă de pregătire cu rezultate bune.

**Distanțe de lucru.** Distanțele de lucru între executant și părțile din instalație sub tensiune trebuie să fie precizate prin norme, ținîndu-se seama de calitatea materialelor și mijloacelor izolante, de utilajele și sculele folosite, precum și de specificul fiecărei instalații.

## B. INSTRUCȚIUNI TEHNICE PENTRU EXECUTAREA UNOR LUCRĂRI DE BRANȘAMENTE LA LINIILE ELECTRICE SUB TENSIUNE

„Normele de Protecție a Muncii pentru instalațiile electrice" elaborate de Ministerul Energiei Electrice, permit racordarea branșamentelor la linii electrice de joasă tensiune, sub tensiune.

Instrucțiunile tehnice trebuie să stabilească condițiile și modul de lucru, obligatorii la executarea și racordarea branșamentelor la liniile electrice aflate sub tensiune.

## 1. Racordarea branşamentelor la liniile electrice aeriene

Execuţia branşamentului pînă la operaţiile de racordare nu diferă faţă de execuţia pentru racordarea branşamentului la o linie electrică aeriană scoasă de sub tensiune şi legată la pămînt. La executarea lucrărilor de racordare a branşamentului la linii sub tensiune, se respectă cu stricteţe măsurile privind :

— utilizarea de scule, dispozitive şi utilaje în perfectă stare ;

— folosirea mijloacelor de protecţie şi a materialelor izolante corespunzătoare ;

— formele de admitere la lucru ;

— formaţia de lucru şi autorizarea membrilor formaţiei ;

— condiţii atmosferice prielnice lucrului sub tensiune.

Efectuarea lucrării de racordare a branşamentului constă în principal din următoarele operaţii :

— se înveleşte (acoperă) cu materiale electroizolante elementele reţelei aflate sub tensiune, din zona de lucru ;

— se scot siguranţele din uişa de branşament ;

— se montează izolatoarele de poziţie ;

— se execută întinderea branşamentului şi fixarea acestuia de izolatoarele de poziţie şi se lasă coarbe de lungimi potrivite pentru legarea la reţea cu ajutorul clemelor universale ;

— se dezizolează (în cazul conductoarelor izolate) pe rînd capetele fiecărei coarbe şi se leagă la reţea prin intermediul clemelor universale, descoperindu-se în acest scop o lungime cît de mică posibilă a unui singur conductor, la care se face legătura prin clemă ;

— se restabileşte izolarea la conductorul la care s-a lucrat şi se trece la elementul următor al reţelei.

După terminarea operaţiilor se procedează la demontarea elementelor izolante protectoare.

## 2. Racordarea branşamentelor la liniile electrice subterane

Pregătirea şi racordarea branşamentelor la linii electrice subterane, sub tensiune, necesită o serie de operaţii importante.

Şi la aceste lucrări echipa trebuie să fie compusă din lucrători formaţi, instruiţi şi autorizaţi pentru aceste lucrări. De asemenea, echipa va fi dotată cu mijloace, scule şi materiale izolante în bună stare, încercate şi verificate conform normelor. Admiterea la lucru se face cu respectarea tuturor măsurilor organizatorice, de către persoane împuternicite.

*Dezgroparea profilului de cabluri* se realizează după delimitarea zonei de lucru conform schiţei de execuţie. Săpătura şi dezvelirea cablului se execută conform fişei tehnologice cu multă atenţie, iar groapa va avea următoarele dimensiuni :

— 1,5 m minimum, în lungul cablului ;

— 0,5 m de la poziţia de lucru a executantului pînă la peretele din spatele lui ;

— 0,5 m de la marginea manşonului de derivaţie pînă la peretele opus poziţiei de lucru a executantului.

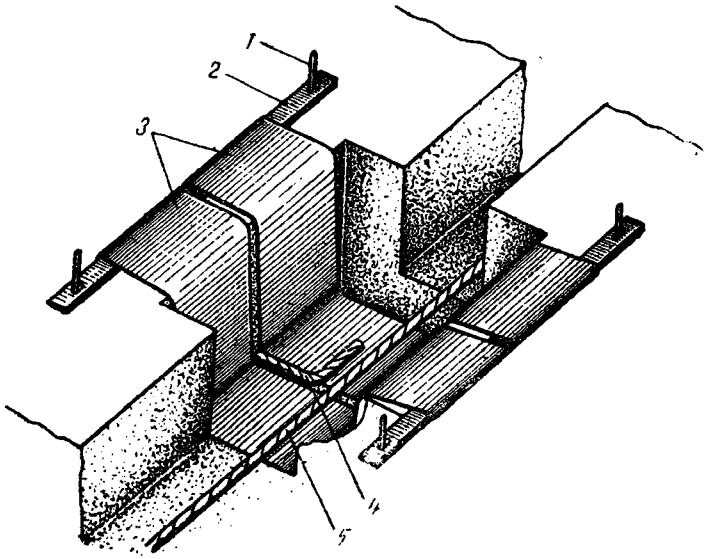



Fig. 6.1. Izolarea locului de muncă cu foi de cauciuc :
*1* — ţăruş metalic pentru fixare ; *2* — ramă de lemn ; *3* — foaie de cauciuc ; *4* — cablu de branşament ; *5* — cablu principal.

O operaţie deosebit de importantă este *identificarea cablului la care se racordează branşamentul*. Ea se execută, de regulă, de un maistru sau tehnician.

În teren se pot găsi următoarele situaţii în profilul de cabluri :

— un singur cablu, cînd situaţia din teren se confirmă cu schiţa de execuţie şi permite începerea lucrărilor ;

— mai multe cabluri şi situaţia corespunde cu schiţa lucrării cu numărul şi poziţia cablurilor. În acest caz se identifică cablul, ţinîndu-se seamă de poziţie, inele de plumb, aşezarea faţă de linia de proprietate a imobilelor ;

— mai multe cabluri, dar situaţia nu corespunde cu schiţa de execuţie. În acest caz identificarea cablului se face cu ajutorul unei rezistenţe de 20 Ω, prin măsurarea variaţiei curentului.

După identificarea cablului se trece la *izolarea zonei de lucru* prin acoperirea cu materiale electroizolante a pereţilor laterali şi de bază ai gropii sau a pieselor conductoare cu care o parte oarecare a corpului lucrătorului ar putea intra în contact.

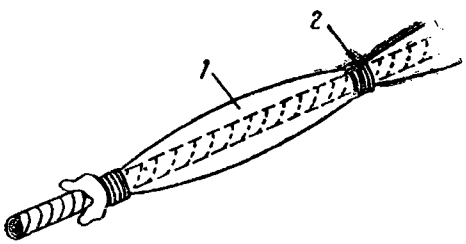



Fig. 6.2. Izolarea cablului cu folie de polietilenă :
*1* — foaie P C V ; *2* — bandă adezivă.

Izolarea pereţilor se face cu foi de cauciuc electroizolant, fixate pe malul gropii cu rame de lemn prinse cu ţăruşi metalici (fig. 6.1) iar în groapă se aşază covoraşe de cauciuc.

Cablurile la care nu se lucrează se izolează cu folii electroizolante din policlorură de vinil (fig. 6.2).

În acest stadiu de pregătire a lucrărilor, se începe *lucrarea propriu-zisă de racordare a branşamen-*

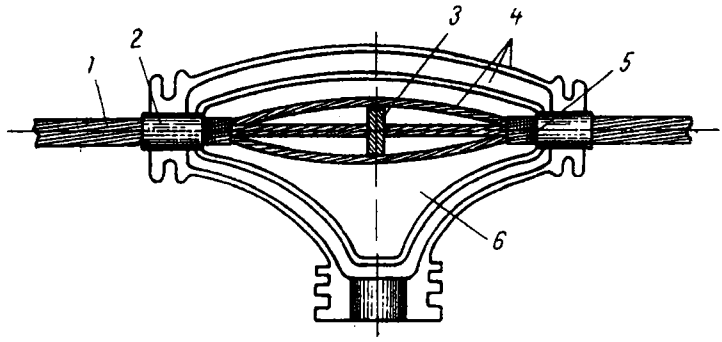



Fig. 6.3. Cablul de rețea pregătit și așezat în carcasa inferioară a manșonului de derivație :

*1* — cablu de rețea ; *2* — carton asfaltat ; *3* — piesă de distanțare ; *4* — conductoarele cablului ; *5* — mantaua de etanșare ; *6* — carcasa inferioară a manșonului de derivație.

*telor* — folosindu-se tehnologia clasică — de îndepărtare a straturilor de protecție și a armăturii de oțel ale cablului pe lungimi corespunzătoare manșonului. Se curăță apoi mantaua de plumb.

Din acest moment încep lucrările sub tensiune și în zona de intervenție trebuie să rămînă numai șeful de lucrare, care trebuie să execute următoarele operații :

— se desface mantaua de plumb conform tehnologiei clasice ;

— se izolează cu bandă din policlorură de vinil mantaua de plumb porțiunea care rămîne vizibilă în manșon ;

— se leagă cu bandă din policlorură de vinil la cele două capete izolația de centură pe o lățime de 10 mm ;

— se îndepărtează izolația de centură și se verifică vizual dacă cablul are patru conductoare. În caz contrar se oprește lucrarea și se anunță responsabilul cu admiterea la lucru ;

— se distanțează conductoarele cablului cu ajutorul penelor de lemn fiert în ulei de in și se montează piesele de distanțare. Această operație se face cu atenție pentru a nu se deteriora izolația conductoarelor ;

— se așază sub cablu partea inferioară a manșonului de derivație ;

— se introduce carton asfaltat între urechile părții inferioare a manșonului și a cablului (fig. 6.3) ;

— se protejează conductoarele cablului prin înfășurare cu bandă de policlorură de vinil, mai puțin prima fază la care se lucrează.

La îndepărtarea izolației de hîrtie se alege întîi conductorul cel mai puțin accesibil. Pentru prinderea foii izolante se folosesc cleme de lemn sau de plastic de tipul celor utilizate pentru rufe ;

— se îndepărtează izolația de hîrtie de pe conductor pe o distanță egală cu lățimea clemei de racord mărită cu 2—3 mm ;

— se verifică existența tensiunii în conductorul dezizolat și lipsa legăturii cu pămîntul a manșonului, se leagă prima fază a branșamentului și se aplică clema de derivație ;

— se strîng șuruburile clemei cu ajutorul unei chei tubulare electroizolante și se izolează cu 4—5 straturi de bandă lăcuită ;

— operațiile se repetă la conductoarele celorlalte două faze și la conductorul de nul, avîndu-se grijă ca în permanență să existe un singur conductor dezizolat și restul conductoarelor separate și acoperite cu foaie izolantă;

— după executarea racordului la toate fazele și la conductorul de nul se leagă la pămînt gulerele mantalei de plumb din manșon prin conductoarele de cupru lipite pe ele, se aplică jumătatea superioară a manșonului și se umple cu masă izolantă.

În cazul racordării branșamentelor sub tensiune este interzisă executarea legăturilor de racordare în manșon prin lipitură.

Date fiind avantajele pe care le prezintă lucrul sub tensiune în rețelele electrice, se fac în prezent cercetări privind metodele, mijloacele și materialele necesare pentru a se extinde lucrul sub tensiune în sistemul nostru energetic pînă la tensiunea de 400 kV. În prezent se execută lucrări sub tensiune numai la linii electrice de joasă tensiune.

Capitolul 7

# REȚELE ELECTRICE COMUNALE

Rețelele electrice comunale (urbane și rurale) asigură alimentarea cu energie electrică a consumatorilor din cuprinsul orașelor și satelor, cu excepția celor care au pe teritoriul lor rețele proprii. Ele se compun dintr-un ansamblu de instalații de distribuție și de linii electrice de tensiuni diferite.

## A. INSTALAȚII ELECTRICE DE DISTRIBUȚIE DIN REȚELELE COMUNALE

Instalațiile electrice de distribuție din cadrul rețelelor comunale sînt : punctele de alimentare (PA), posturile de transformare (PT) și punctele de conexiuni.

### 1. Puncte de alimentare

Punctele de alimentare reprezintă instalații de distribuție cu ajutorul cărora se transmite energia electrică de la liniile de alimentare la cele de distribuție, fără modificarea tensiunii. Ele constituie mici stații de conexiuni de 6—20 kV (combinate uneori și cu un post de transformare) alimentate prin fideri sau linii de alimentare de la o sursă, care poate fi o centrală sau o stație de transformare coborîtoare a sistemului.

Crearea punctelor de alimentare în rețelele comunale este avantajoasă, deoarece reduce numărul de celule din stațiile de transformare și numărul de linii. Celulele de medie tensiune din punctele de alimentare, constituite în locul celor din stațiile coborîtoare, sînt mai puțin costisitoare, deoarece aparatele de comutație (întreruptoarele) sînt alese pe baza unor curenți de scurtcircuit mai mici, și ca urmare sînt mai ieftine.

**Schemele de conexiuni ale punctelor de alimentare.** Schemele de conexiuni ale punctelor de alimentare depind în mare măsură de structura rețelei respective, conținînd, în unele cazuri, un singur sistem de bare colectoare (fig. 7.1, *a*) care pot fi secționate longitudinal (fig. 7.1, *b*). În funcționare normală cupla longitudinală este deschisă, urmînd a fi închisă automat cu aju-

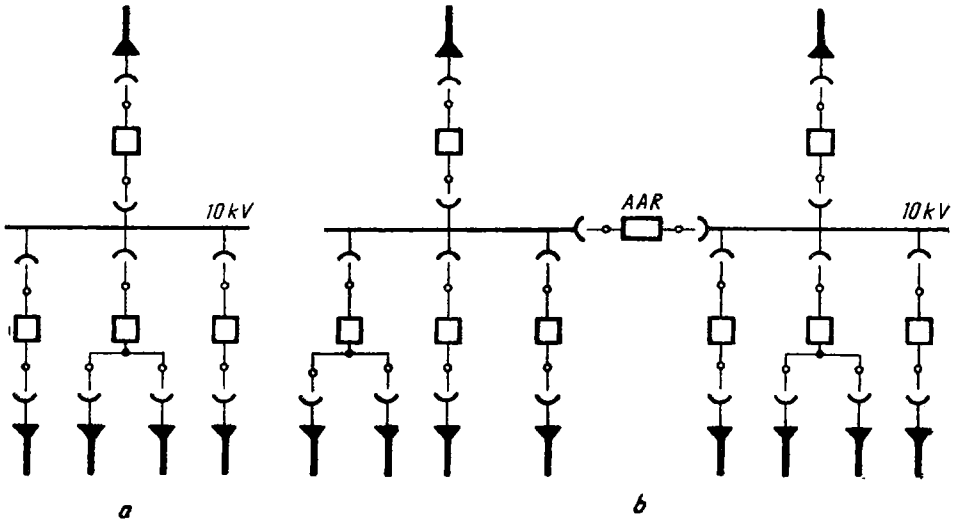



Fig. 7.1. Scheme electrice ale punctelor de alimentare.

torul dispozitivului de anclanşare automată a rezervei (*AAR*), cînd pe una dintre secţiile de bare a dispărut tensiunea.

Uneori, punctul de alimentare este prevăzut cu un sistem de bare colectoare secţionat longitudinal în trei secţii, alimentate fiecare printr-un fider separat (*1*, *2*, *3*), ca în figura 7.2. Al patrulea fider (*4*) serveşte ca alimentare de rezervă a celor trei secţii de bare.

În reţelele comunale de 15 sau 20 kV punctele de alimentare pot fi prevăzute cu două sau chiar cu trei sisteme de bare, dintre care unele secţionate. În figura 7.3 este reprezentat un punct de alimentare cu două sisteme de bare colectoare, unul secţionat (sistemul de lucru), altul nesecţionat (sistemul de rezervă). Bara de lucru are fiecare dintre cele două secţii alimentate de cîte un fider. Cel de-al treilea fider este destinat alimentării de rezervă, fiind conectat la bara nesecţionată.

Cînd se defectează fiderul de alimentare, alimentarea de rezervă poate fi conectată la o secţie oarecare, cu ajutorul cuplei transversale prevăzută cu *AAR*. Separatoarele $S_1$ şi $S_2$ se utilizează pentru schimbarea rolului fiderilor în reţea. În cazul figurii 7.3 fiderul *B* constituie alimentarea de rezervă. Cînd se închide $S_1$, fiderul *A* este folosit ca rezervă, iar cînd se închide separatorul $S_2$, fiderul *C* este folosit ca rezervă.

**Soluţiile constructive ale punctelor de alimentare.** Punctele de alimentare se pot instala fie în clădiri speciale, fie în încăperi special amenajate din blocuri (cazul localităţilor urbane mari). În zonele în care, din consideraţii arhitectonice, nu este posibilă realizarea unei construcţii supraterane separate, nici rezervarea unor încăperi speciale în construcţiile edilitare, ele se montează în construcţii subterane.

Echipamentul punctelor de alimentare se instalează în sistem celular, cu celule deschise sau capsulate.

Prima variantă reprezintă un avantaj economic, fiind mai ieftină, însă necesită spaţii mai mari, ceea ce în cazul construcţiilor subterane, poate anula avantajul economic iniţial. De aceea, în multe situaţii se preferă celulele capsulate, care au avantajul unei durate reduse de montare.

Dacă se foloseşte echipament standardizat în construcţia celulelor punctelor de alimentare, acestea se pot tipiza. În figura 7.4 este reprezentată o celulă tipizată echipată cu întreruptor cu ulei puţin, care se utilizează în instalaţii de distribuţie de 6 kV cu puteri de scurtcircuit pînă la 200 MVA, de 10 kV cu puteri de scurtcircuit pînă la 350 MVA şi de 15 kV cu puteri de scurtcircuit pînă la 400 MVA. Celula prezentată are prevăzut un singur sistem de colectoare. Pentru a se crea o posibilitate de trecere uşoară la sistemul dublu de bare şi a se asigura condiţii corespunzătoare de lucru în celulă, cînd se scoate căruciorul întreruptorului, celula a fost prevăzută şi cu separator de bare, despărţit de barele colectoare printr-un perete.

În figura 7.5 este reprezentată o celulă capsulată de interior existentă în reţelele comunale de 10 (6) kV, cu curenţi pînă la 1 000 A. Ea are două compartimente separate printr-un perete. În compartimentul din faţă se montează dispozitivele de acţionare pentru întreruptor şi separator, precum şi circuitele de joasă tensiune, cu aparatele de măsurare, protecţie şi semnalizare. Compartimentul din spate este destinat pentru montarea aparatelor de înaltă tensiune.

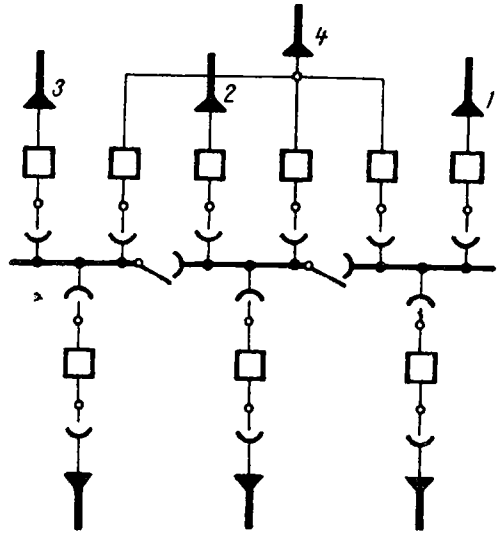



Fig. 7.2. Schema electrică a unui punct de alimentare în patru fideri de alimentare.

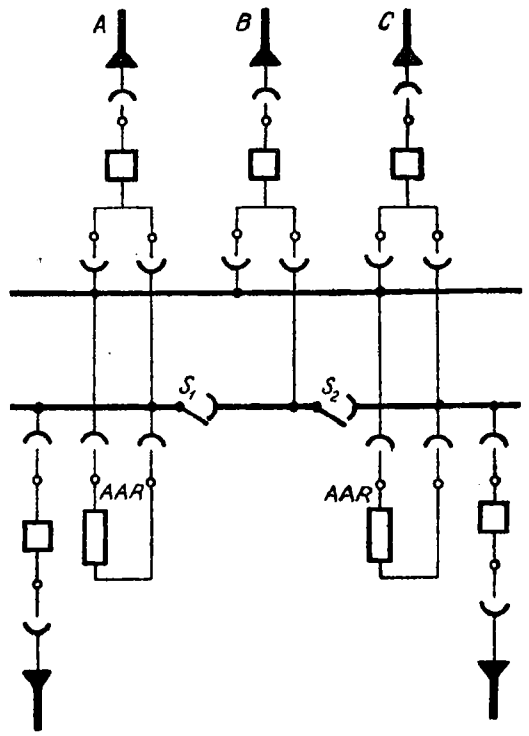



Fig. 7.3. Schema electrică a unui punct de alimentare cu trei fideri (unul de rezervă) şi dispozitiv AAR pe două secţii de bare.

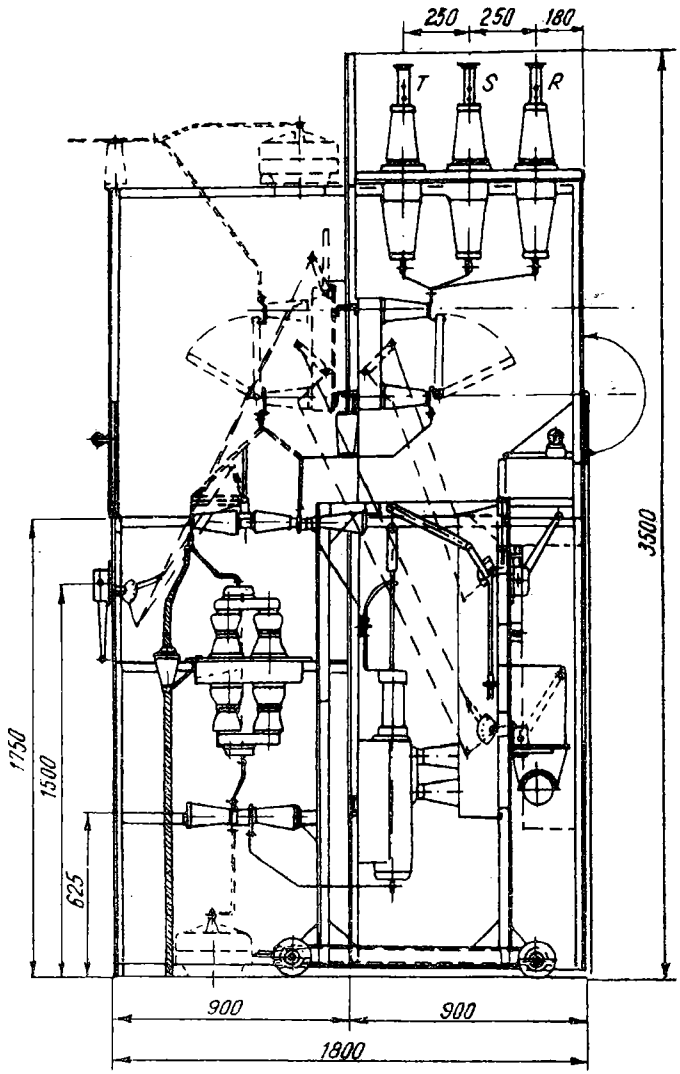



Fig. 7.4. Celulă prefabricată de interior pentru instalațiile de distribuție de 6, 10 și 15 kV.

Pentru protecție, celula este prevăzută constructiv cu un dispozitiv mecanic de blocare, care nu permite următoarele manevre:

— deschiderea sau închiderea separatorului cînd întreruptorul este închis;

— închiderea separatorului cînd ușa din spate este deschisă;

— deschiderea ușii din spate cînd separatorul este închis.

Pozițiile întreruptorului și ale separatorului sînt indicate prin dispozitive mecanice de semnalizare și prin semnalizare electrică (lămpi de semnalizare), iar accesul la siguranțele de înaltă tensiune este posibil prin spatele celulei.

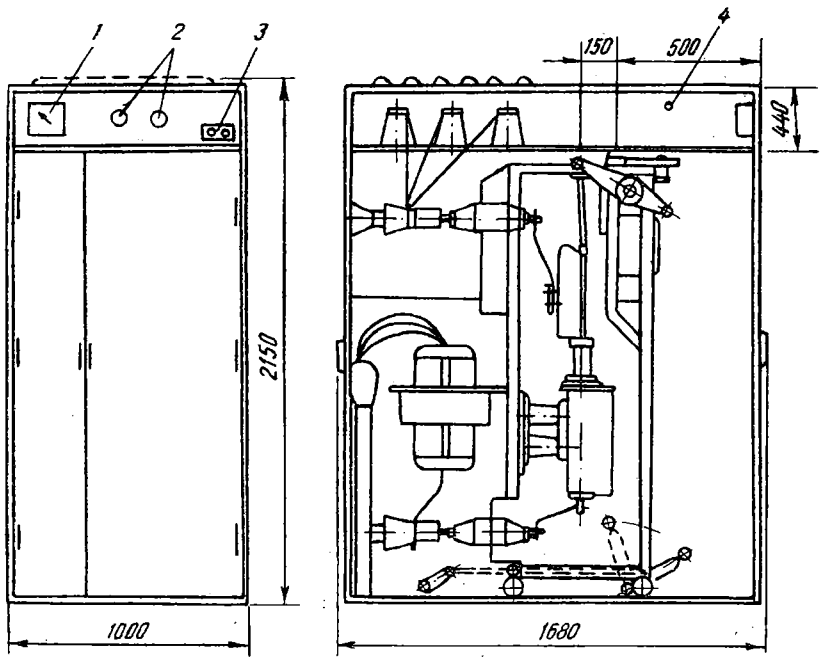



Fig. 7.5. Celulă de interior pentru instalații de distribuție de 6 și 10 kV :
*1* — ampermetru ; *2* — lămpi de semnalizare ; *3* — butoane de comandă ; *4* — canal pentru cabluri din circuitele secundare.

În figura 7.6 este reprezentată o celulă capsulată pentru instalațiile de distribuție de 10 kV, cu bare colectoare simple și întreruptor cu ulei puțin. Ea este prevăzută cu cinci compartimente, despărțite prin pereți metalici. În compartimentul *I* se montează întreruptorul *1*, pe cărucior, împreună cu dispozitivul său de acționare. Compartimentul *II* este destinat pentru montarea separatorului de linie *3*, a transformatorului de curent *4* și a cutiilor terminale ale cablurilor *5*. Separatorul de bare *6* este montat în compartimentul *III*, iar barele colectoare *7* în compartimentul *IV*. În compartimentul *V* se află aparatele de măsurat și releele de protecție, fixate pe uși metalice, care se pot deschide pentru revizie.

Barele colectoare pot fi revizuite pe la partea superioară a celulei, care este prevăzută cu clapete ce se pot ridica. Separatoarele de bare și de linie sînt de construcție specială, sub forma unor prize care se deschid prin deplasarea căruciorului întreruptorului. Pentru evitarea manevrelor greșite ale separatoarelor, celula are un dispozitiv mecanic de blocare, care nu permite scoaterea sau introducerea căruciorului, dacă întreruptorul este închis. La scoaterea căruciorului, orificiile compartimentelor *II* și *III* prin care ies izolatoarele suport ale separatoarelor, sînt închise cu obturatoare automate, care nu permit atingerea părților sub tensiune. În timpul reviziei generale, cînd celula este scoasă de sub tensiune, accesul în compartimentele *II* și *III* este posibil prin îndepărtarea obturatoarelor.

În punctele de alimentare sau stațiile de conexiuni în care nu este economică amenajarea unei clădiri, se folosesc celule capsulate de tip exterior.

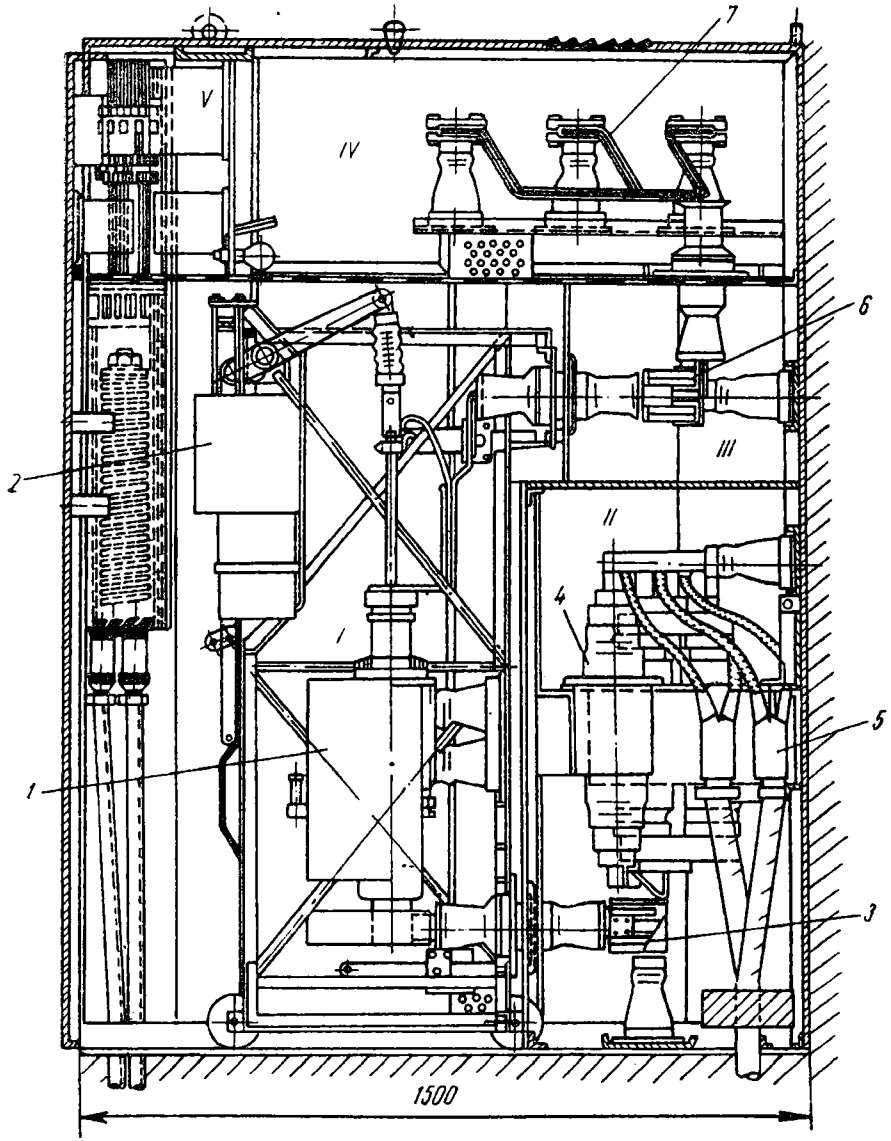



Fig. 7.6. Celulă prefabricată (capsulată) a unei instalații de distribuție de 10 kV, cu bare simple.

În țara noastră astfel de celule sînt folosite mai ales pentru alimentarea schelelor petrolifere, a șantierelor, în general a unor instalații provizorii. În figura 7.7 este reprezentată vederea a trei variante, echipate cu întreruptoare cu ulei puțin, care permit plecări atît în cabluri, cît și aeriene. În ultimul caz, celulele trebuie să aibă printre ele o celulă cu altă destinație (măsură, cuplă etc.) sau o celulă de linie cu plecare în cablu, pentru a se asigura

o distanță suficientă pentru izolația dintre două linii aeriene.

Într-o dispoziție specială, celulele pot fi prevăzute cu culoare de deservire, laterale sau central.

Dispozitivele de acționare ale întreruptoarelor celulelor descrise mai sus, pot fi de tip manual (*DMI*), dacă nu se prevede nici o automatizare. Dacă însă se prevede introducerea unor sisteme de automatizare ca *AAR*, *RAR* (reanclanșarea automată rapidă) și telecomandă, atunci se utilizează dispozitive de acționare cu solenoid (tip *DSI*), pneumatice (tip *DPI*), cu resorturi (tip *DRI*) și altele.

Dispozitivele de acționare a întreruptoarelor se aleg după considerente economice. În general, pînă la un număr de 6 — 8 întreruptoare este mai rațională utilizarea dispozitivelor cu rezervă de energie mecanică, deoarece, deși sînt mai scumpe, nu necesită instalații auxiliare. Pentru un număr mai mare de întreruptoare poate fi justificat economic sistemul de acționare pneumatic, dacă diferența dintre costul dispozitivelor acoperă cheltuielile necesare instalației de aer comprimat.

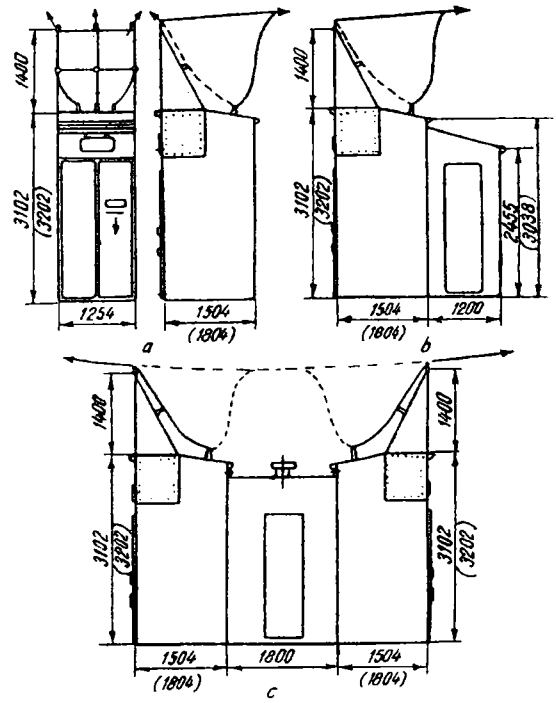



Fig. 7.7. Celule prefabricate (cablul metalic) de 6, 10 și 15 kV, pentru instalații de distribuție exterioare (cotele din paranteze corespund tensiunii de 15 kV) :

*a* — fără culoar ; *b* — cu culoar lateral ; *c* — culoar central

## 2. Posturi de transformare

Posturile de transformare conțin unul sau mai multe transformatoare coborîtoare care servesc la alimentarea cu energie electrică a consumatorilor. Dacă ele corespund unor folosințe generale, alimentînd liniile de distribuție comunale de joasă tensiune, atunci se numesc *posturi de rețea*. Dacă însă ele alimentează consumatori de sine stătători (întreprinderi comerciale), atunci se numesc *posturi de transformare industriale* sau cînd aparțin abonatului sau sînt exploatate de acesta, *posturi de transformare de abonat*. Uneori, aceste posturi de transformare pot avea funcții combinate, fiind în acest caz denumite *posturi de transformare mixte*.

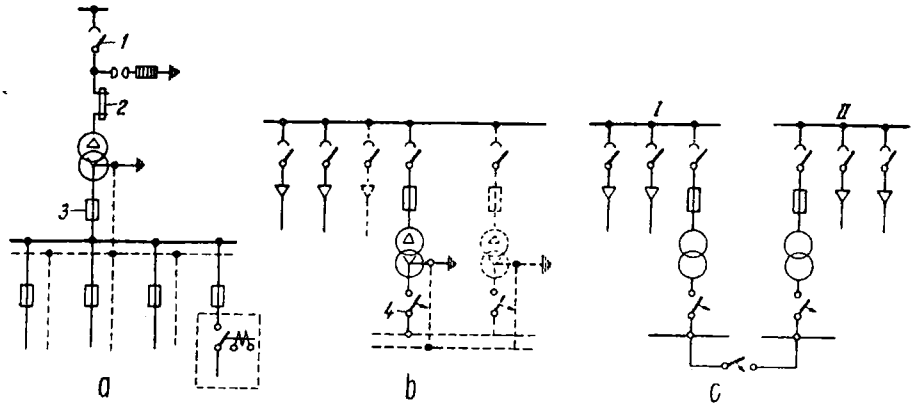



Fig. 7.8. Scheme monofilare ale posturilor de transformare.

**Schemele de conexiuni ale posturilor de transformare.** Schemele de conexiuni ale posturilor de transformare trebuie să fie simple, să se încadreze în schemele rețelelor comunale de distribuție de medie și de joasă tensiune, să asigure o protecție sigură și selectivă în condiții optime pentru funcționare de lungă durată fără personal. Cele mai folosite scheme sînt reprezentate în figura 7.8.

Varianta *a* este cea mai simplă și corespunde unui post de transformare racordat în derivație la o linie aeriană, care este echipat cu un singur transformator cu conexiunea $\Delta/Y_0$. Pe partea de înaltă tensiune schema nu are bare colectoare, iar protecția este realizată prin siguranța *2*. Unicul separator prevăzut *1* servește la scoaterea de sub tensiune atît a postului, cît și a transformatorului. Pe partea de joasă tensiune conectarea postului la barele colectoare se realizează prin siguranța fuzibilă *3*, care asigură protecția împotriva suprasarcinilor. De la barele colectoare se alimentează 4—6 plecări, protejate de asemenea prin siguranțe fuzibile. În general, una dintre plecări este destinată alimentării iluminatului public, punctul de aprindere fiind instalat chiar în postul de transformare.

O schemă de conexiuni mai complexă, folosită mai ales pentru posturile de transformare alimentate prin cabluri, este cea din varianta *b*. În acest caz, introducerea postului în schema rețelei conduce la instalarea de bare colectoare de înaltă tensiune, la care cablurile se racordează numai prin separatoare. Protecția postului pe partea de înaltă tensiune se realizează prin siguranțe sau întreruptor automat, în funcție de puterea nominală a transformatorului.

Schema de conexiuni a distribuției pe partea de joasă tensiune este realizată analog variantei *a*. Protecția însă, în unele cazuri, este asigurată cu întreruptoarele automate *4*. Soluția aceasta este recomandată în următoarele două cazuri:

— cînd curentul nominal al transformatorului depășește curentul maxim admisibil al siguranțelor (350 A), atunci este mai indicată utilizarea întreruptorului automat, în locul mai multor siguranțe în paralel;

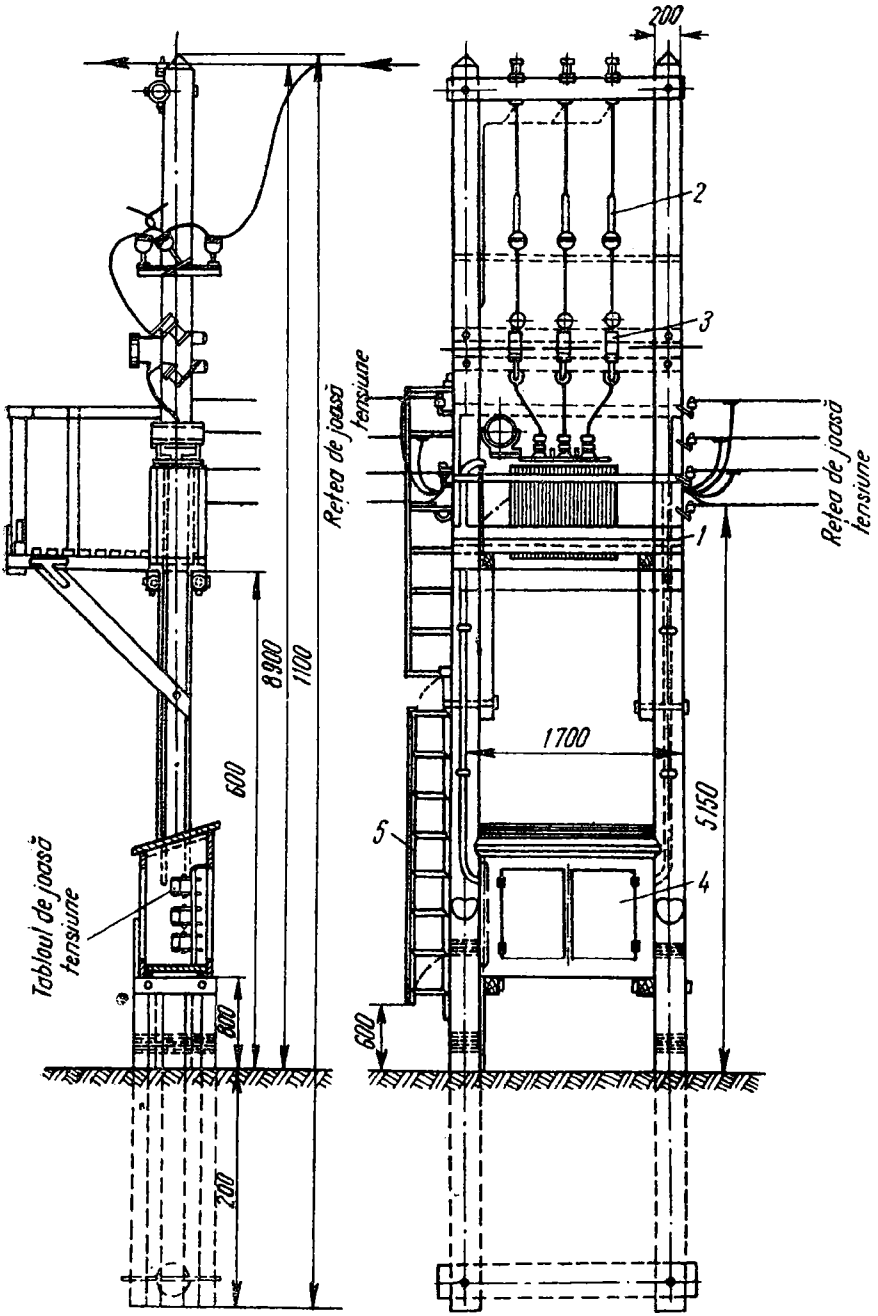



Fig. 7.9. Post de transformare aerian (tip rural).

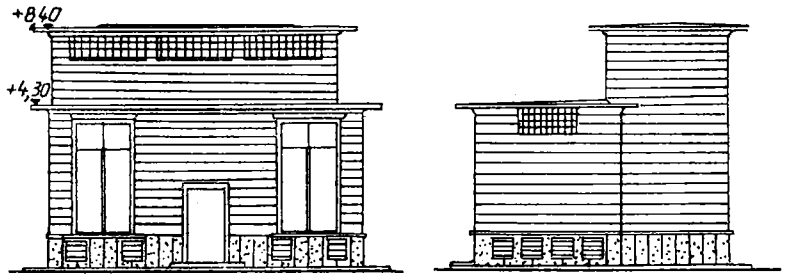



Fig. 7.10. Post de transformare în cabină de zid cu alimentare aeriană.

— cînd postul este echipat cu două transformatoare care funcţionează în paralel, pentru a preveni alimentarea inversă a unui defect, sesizat iniţial numai prin protecţia de gaze a transformatorului.

Varianta *c* este încadrată într-o schemă de reţea cu dublă alimentare a fiecărui post de transformare. Postul este prevăzut cu două sisteme de bare colectoare de medie tensiune *I* şi *II*, alimentate prin cabluri distincte.

Pe partea de joasă tensiune, fiecare sistem este racordat la cîte un sistem de bare colectoare, între care este montat un întreruptor de legătură, care permite utilizarea *AAR* pentru cazurile unor defecte în reţeaua de medie tensiune sau în transformatoare.

**Soluţii constructive ale posturilor de transformare.** Tipurile fundamentale de posturi de transformare sînt determinate în principal de densitatea de sarcină electrică specifică şi de condiţiile urbanistice.

*Postul de transformare aerian* este folosit mai ales în localităţile rurale sau în cele cu caracter semiurban, unde reţeaua de distribuţie de medie tensiune este aeriană. În figura 7.9 este reprezentat un astfel de post, echipat cu un transformator de putere redusă (50—100 kVA), instalat pe o platformă *1* prinsă de stîlpi la o înălţime de aproximativ 5 m. Separatorul *2* este acţionat la nivelul solului, unde maneta de comandă este protejată într-o cutie specială care se poate încuia. Uneori însă comanda separatorului se amenajează chiar pe platforma de susţinere a transformatorului, de unde se pot controla şi siguranţele de înaltă tensiune *3*.

Pe partea de joasă tensiune conductoarele coboară de la transformator la tabloul de distribuţie *4*, aşezat într-o cutie închisă cu cheia. Pentru a se împiedica accesul persoanelor străine pe platforma postului, scara *5*, cu care este prevăzut, trebuie strînsă sau trebuie acoperită în partea de jos cu un dispozitiv de apărare închis cu lacăt. Conductoarele de legare la pămînt a transformatorului, a descărcătoarelor sau a altor părţi metalice trebuie coborîte pe stîlpi, pe partea opusă scării.

*Postul de transformare în cabină de zid* se foloseşte dacă este necesară instalarea unor puteri mai mari în zone cu caracter semiurban. În figura 7.10 este reprezentat un astfel de post, echipat cu două transformatoare de puteri pînă la 400 kVA, care poate fi alimentat de la o linie aeriană de 15 kV.

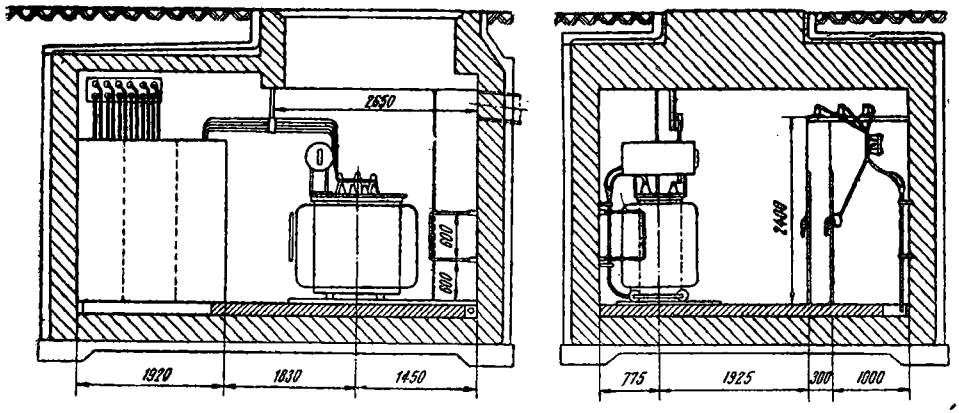



Fig. 7.11. Post de transformare subteran.

În rețelele comunale subterane, postul de transformare în cabină de zid nu reprezintă o soluție optimă din punct de vedere arhitectonic și al economici construcțiilor. În acest caz se recomandă amplasarea posturilor de transformare în încăperi special amenajate în clădirile noi, folosindu-se celule tipizate aranjate în funcție de spațiul clădirii.

*Postul de transformare subteran*, se folosește în orașe mari cu densitate mare de construcții, unde nu este posibilă folosirea soluțiilor mai sus menționate. El reprezintă însă o soluție mai scumpă. Un astfel de post, reprezentat în figura 7.11, poate fi prevăzut cu unul sau cu mai multe transformatoare.

Realizarea constructivă a posturilor de transformare este o problemă dificilă. În prezent, pentru a se accelera ritmul construcțiilor și a se reduce la minimum cheltuielile de investiții, se utilizează soluții tipizate prefabricate, care prezintă avantaje mari prin spațiul redus pe care îl ocupă și ușurința de montare.

• Partea de înaltă tensiune a postului poate fi realizată în mai multe soluții, dintre care cele mai răspîndite sînt:

— *instalațiile capsulate*, care ocupă cel mai mic spațiu de montare, însă sînt mai scumpe deoarece necesită folosirea unor elemente constructive de foarte bună calitate;

— *instalațiile montate pe tablouri*, care ocupă, de asemenea, un spațiu redus, însă sînt incomode și periculoase din punctul de vedere al exploatării. Din această cauză utilizarea lor este puțin extinsă;

— *instalațiile cu celule*, cele mai utilizate, deși ocupă un spațiu mai mare decît primele două. Ele sînt simple, clare și oferă condiții bune din punctul de vedere al tehnicii securității, datorită compartimentării. Celulele acestor instalații sînt, în general, tipizate. O astfel de celulă (de plecare în cablu de 10 (6) kV), montată în cabină de zid este reprezentată în figura 7.12.

• Partea de joasă tensiune a unui post de transformare se dotează cu echipament de distribuție, care poate fi realizat în două variante.

*În prima variantă* instalația de distribuție a postului se montează pe tablouri compuse din panouri cu fixare liberă sau rezemate. Pe partea din față

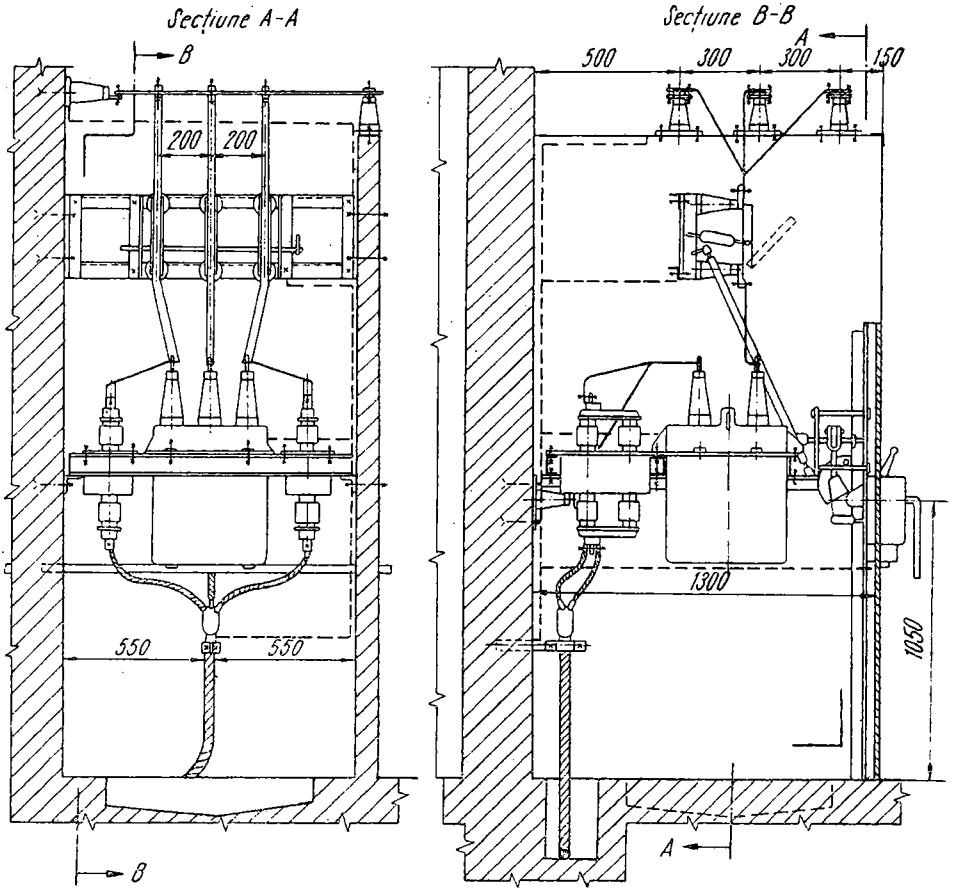



Fig. 7.12. Celule pentru posturi de transformare în cabină de zid.

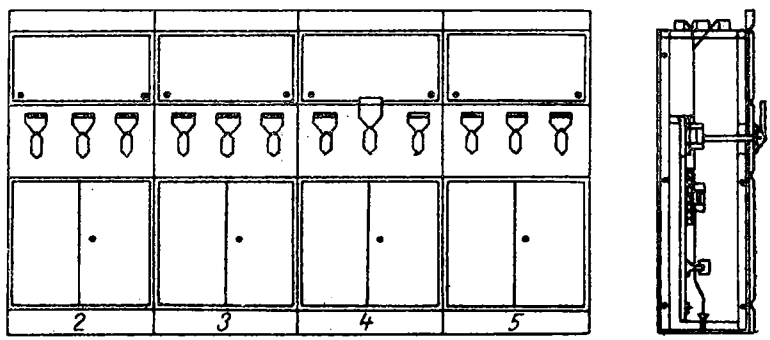



Fig. 7.13. Tablouri de joasă tensiune de tip rezemat.

a panourilor se montează aparatele de măsurare și dispozitivele de acționare a întreruptoarelor, iar pe partea din spate — barele colectoare, siguranțele și întreruptoarele. Deservirea tablourilor poate fi făcută fie pe partea din față (tablouri cu deservire frontală), fie pe partea din spate (tablouri cu deservire posterioară). În primul caz, ele se montează rezemat de perete, de unde și denumirea de „tablouri rezemate". În figura 7.13 este reprezentat un astfel de tablou de joasă tensiune de tip rezemat, care ocupă un spațiu foarte redus. De aceea, folosirea lui este justificată mai ales în posturile de transformare din localități urbane, deoarece numărul de aparate de comutație și de protecție este redus.

În *varianta a doua* instalația de distribuție de joasă tensiune a postului se montează pe un stelaj încastrat în perete. Plecările din post nu sînt prevăzute cu întreruptoare sau aparate de măsurat. Se montează numai un întreruptor în circuitul transformatorului. Uneori, se folosesc construcții realizate însă cu siguranțe.

Compararea celor două variante arată că ultima necesită cheltuieli mai reduse, însă nu prezintă suficientă siguranță, inconvenientul principal constituindu-l lipsa întreruptoarelor.

## 3. Puncte de conexiuni în rețelele comunale

În rețelele de distribuție de joasă tensiune este necesar uneori să se modifice schema de exploatare prin conectarea unor linii și deconectarea altora. Acest lucru se efectuează într-un *punct nodal* sau într-o *cutie de distribuție* care se realizează, de obicei, în locul unde se întîlnesc mai multe linii de joasă tensiune. În majoritatea cazurilor, ele se amplasează subteran, lîngă pereții clădirilor sau, mai rar, chiar pe pereții acestora.

*Punctul nodal* reprezintă, de fapt, o stație de distribuție de joasă tensiune (220—380 V) c.a., care se deosebește însă fundamental de o stație de distribuție de înaltă tensiune, atît din punctul de vedere constructiv, cît și al valorilor de puteri distribuite la consumatori. El se compune din bare colectoare fixate pe izolatoare suport și din siguranțe fuzibile de tip deschis; acestea din urmă sînt prinse cu un capăt direct pe bara colectoare, iar cu celălalt capăt pe un izolator suport.

Liniile de plecare ale rețelei comunale de joasă tensiune se racordează la contactele libere ale siguranței. În acest fel, prin introducerea sau scoaterea siguranțelor se conectează sau se deconectează diferitele plecări prin intermediul barelor colectoare.

În figura 7.14 este reprezentat un punct nodal instalat într-un dulap metalic care permite conectarea unui număr de cinci linii de plecare. Pe regletele metalice din interiorul dulapului sînt fixate izolatoare suport, montate în rînduri orizontale, cîte două pe fiecare fază. Pe izolatoarele unui rînd se montează bara colectoare și suporții siguranțelor, iar pe izolatoarele celui de-al doilea rînd numai suporții siguranței. Bara de nul se montează direct pe regletele de fixare.

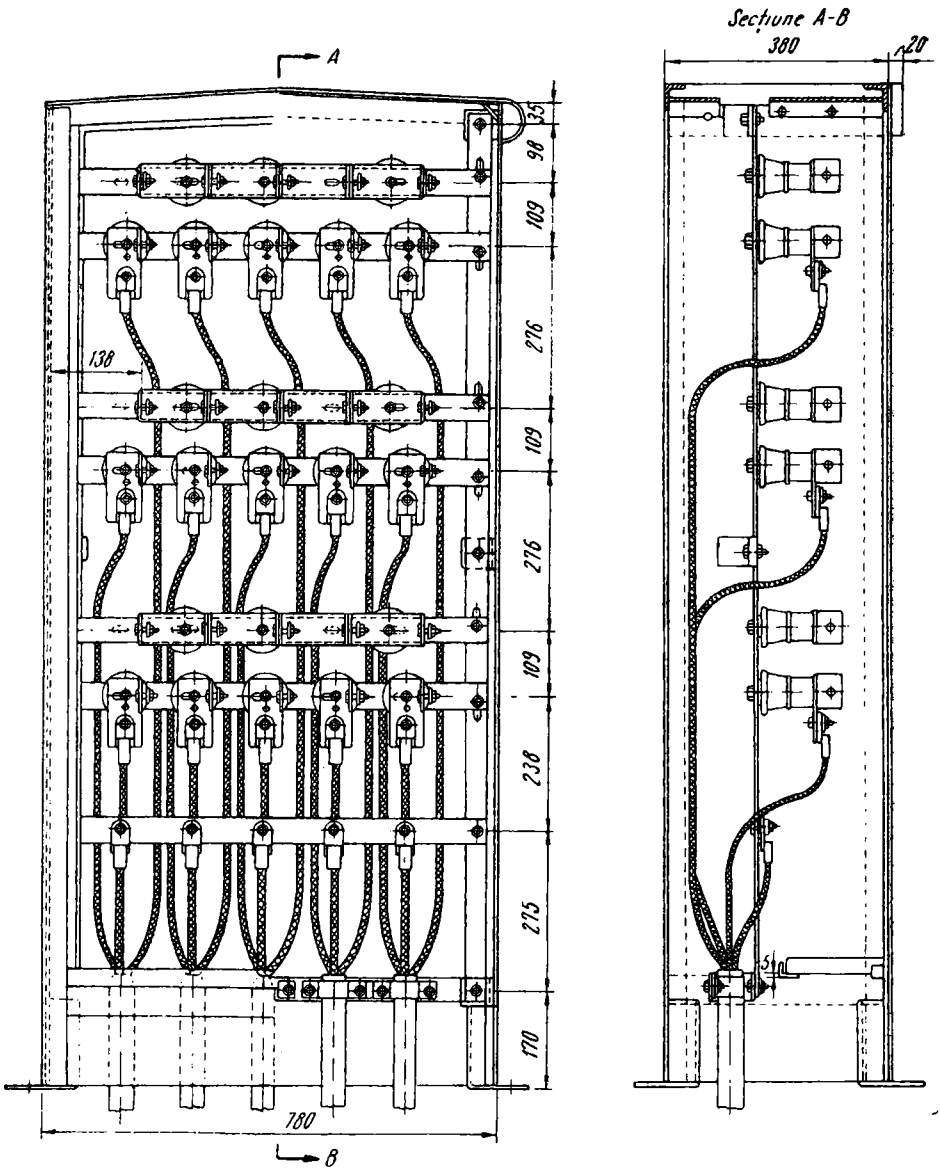



Fig. 7.14. Punct nodal.

*Cutiile de distribuție subterane* au formă cilindrică, pentru a permite legarea ușoară a cablurilor de energie, din orice direcție ar sosi, la cochilele (cutiile terminale) amplasate în jurul acestora. Ele se execută în două variante și anume, *cu șase* și *cu opt direcții*. În corpul cutiei, confecționat din fontă cenușie, care să reziste la foc și la umezeală, se montează întregul echipament electric (de tipul cu legături în față), ca : bare, izolatoare, plăci izolante, des-

părțitoare de faze etc. Pe peretele lateral al corpului sînt prevăzute deschideri pentru racordarea cutiilor terminale (cochilelor).

Conectarea rețelelor consumatorilor de energie electrică cu rețeaua comunală de joasă tensiune se realizează prin intermediul *cofretelor* și a *punctelor de racord*. Acestea din urmă reprezintă o variantă simplificată a punctului nodal, care se pot construi în mai multe variante, după cum cablurile de trecere au ieșire către un singur abonat sau către doi abonați. Cofretul de racord se prezintă sub forma unui dulap de dimensiuni mici, în care se montează siguranțele.

Amplasarea cofretelor și a punctelor de racord se face, de obicei, pe peretele unei clădiri, sau atunci cînd grosimea acestuia permite, într-o nișă. Mai rar, punctul de racord poate fi fixat pe o fundație separată.

Echipamentele de racord se montează pe locul de racordare a rețelei consumatorului la rețeaua comunală de joasă tensiune, pe diferitele ramificații luate din aceasta și executate cu manșoane de derivație sau la capătul unui racord de linie.

## B. LINII ELECTRICE COMUNALE

În cadrul rețelelor comunale există o serie de linii electrice, de diferite tensiuni, care fac legătura între instalațiile de distribuție sau între acestea din urmă și consumatori.

Astfel, liniile electrice de înaltă tensiune* pot fi de : alimentare și de distribuție.

*Liniile de alimentare* realizează transportul energiei electrice de la sursa de alimentare la punctul de alimentare sau pe legătura dintre punctele de alimentare. Totalitatea liniilor de alimentare și a punctelor de alimentare formează rețeaua de alimentare.

*Liniile de distribuție de înaltă tensiune* alimentează o serie de posturi de transformare, de la sursa de alimentare sau de la stațiile de transformare. Totalitatea liniilor de distribuție și a posturilor de transformare formează rețeaua de distribuție de înaltă tensiune.

*Liniile de distribuție de joasă tensiune* au pe parcursul lor racorduri la consumatori. Ele formează rețeaua de joasă tensiune care se împarte, datorită condițiilor diferite impuse construcției și exploatării, în *rețea pentru iluminat exterior* și *rețea de utilizare generală*, care alimentează restul consumatorilor rețelei comunale.

Rețeaua de joasă tensiune are linii de racord care leagă liniile de distribuție cu instalația de racord. Ansamblul format din linia de racord și instalația de racord formează un *branșament*. Dacă linia de racord este legată direct la barele unui post de transformare, atunci se realizează un *branșament direct*.

Indiferent de funcțiile pe care le au liniile electrice definite mai sus, ele se pot realiza subteran sau aerian.

---

* În acest capitol s-a considerat că orice instalație cu tensiunea nominală mai mare decît 1 000 V face parte din categoria instalațiilor de înaltă tensiune.

Liniile de înaltă tensiune în oraşe sau în anumite zone ale acestora, cu excepţia celor cu caracter semiurban, fără perspectivă de dezvoltare apropiată, se realizează subteran. În zonele cu construcţii cu număr mic de etaje şi în oraşele mici, unde densitatea de suprafaţă a sarcinii este redusă, liniile de înaltă tensiune se pot realiza şi aerian.

Liniile de joasă tensiune se construiesc subteran în zonele cu clădiri care au mai mult decît două etaje şi pe străzile principale, definitive, ale oraşelor şi localităţilor balneo-climaterice. În localităţile rurale ele se construiesc aerian.

## C. BRANŞAMENTE LA CONSUMATORI

Alimentarea instalaţiilor electrice interioare ale abonaţilor de la reţeaua de joasă tensiune se efectuează prin intermediul *branşamentelor* sau *racordurilor*, care pot fi: aeriene şi subterane.

*Branşamentele electrice aeriene* sînt, de fapt, derivaţii mono-, bi- sau tri-fazate din linia principală, executate cu conductoare de aluminiu sau de cupru (mai rar), de secţiune, de obicei, mai mică decît cea a conductoarelor liniei principale. Pentru lungimea de racorduri de maximum 10 m, secţiunea minimă admisă este de 2,5 mm² la cupru şi 6 mm² la aluminiu.

În figura 7.15 este arătat modul în care se efectuează un racord aerian monofazat la o clădire. Pe conductorul activ *1* al racordului s-a intercalat o siguranţă fuzibilă *2*. Pe conductorul neutru *3* nu se instalează siguranţa fuzibilă. Fixarea conductoarelor de corpul clădirii se execută de obicei cu izolatoare-suport montate pe console metalice, care se prind direct pe peretele clădirii, în cazul clădirilor cu etaj, sau pe suporţii din ţeavă, în cazul clădirilor fără etaj, pentru asigurarea distanţei faţă de pămînt.

La lungimi de racorduri mai mari decît 25 m, este necesar a se introduce un stîlp intermediar, pe care coboară conductoarele pînă la înălţimea la care se poate efectua racordarea la clădire. Distanţa dintre conductoarele branşamentului, precum şi dintre acestea şi streaşina acoperişului, trebuie să fie de minimum 20 cm.

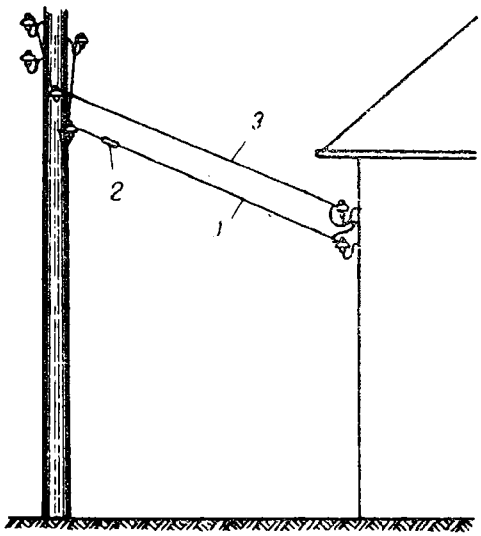


Fig. 7.15. Executarea unui racord la o clădire.

Trecerea racordului prin peretele clădirii se face prin găuri de trecere pentru fiecare conductor separat. Conductoarele trebuie izolate şi trase printr-o ţeavă de ebonită, terminată la partea exterioară a peretelui cu o pipă de porţelan, iar în interior cu o tijă de porţelan.

În localităţile rurale sau la casele mici din localităţile urbane, branşamentele se pot executa prin acoperiş cu ajutorul ţevilor de gaz. Distanţa minimă de la orice punct al acoperişului pînă la conductoare trebuie să fie de 200 cm. Imediat după in-

trarea în casă (la maximum 100 cm de la intrare), pe fiecare dintre conductoarele de racordare, cu excepţia firului neutru, se montează siguranţa. Siguranţele trebuie să fie de o construcţie specială, care să permită înlocuirea fuzibilului lor sub tensiune, fără pericol de electrocutare. Ele se montează mai jos faţă de conductoarele active, pentru a se evita atingerea părţilor sub tensiune.

*Branşamentele subterane* asigură legătura electrică în cablu între reţeaua de distribuţie de joasă tensiune şi nişele de branşament a consumatorilor.

Din punct de vedere tehnic, ele prezintă o siguranţă în funcţionare mai mare decît cele aeriene şi se pot racorda direct din cablul principal de alimentare, prin intermediul unui manşon de derivaţie, dintr-o nişă (firidă) principală (cazul blocurilor noi de locuinţe sau al imobilelor cu mai multe apartamente) sau dintr-o reţea aeriană pentru alimentarea unor consumatori la care nu se pot realiza branşamente aeriene.

Părţile principale ale unui branşament subteran sînt următoarele:

— cablul de branşament propriu-zis;
— manşonul de derivaţie;
— cutia terminală şi papucii de legare a cablului;
— firida (nişa) de capăt cu aparatajul de protecţie.

Pozarea cablurilor, executarea legăturilor de înnădire în prelungire şi în derivaţie, precum şi a capetelor terminale se aseamănă cu lucrările de montare a cablurilor de energie din reţelele subterane.

Ca domeniu de utilizare, branşamentele subterane se impun în special în zone urbane sistematizate, mai ales în partea centrală, unde branşamentele aeriene şi reţeaua aeriană ar strica aspectul arhitectonic.

## D. SCHEMELE DE CONEXIUNI ALE REŢELELOR ELECTRICE COMUNALE

Schemele de conexiuni ale reţelelor electrice comunale reprezintă, cu ajutorul unor semne convenţionale, elementele principale (liniile de alimentare, de distribuţie, punctele de alimentare, posturile de transformare, aparatele de comutaţie) cu respectarea fidelă a legăturilor reale dintre aceste elemente. La alegerea lor trebuie să se ţină seamă, printre alţi factori principali, de categoria consumatorilor şi de siguranţa în alimentarea cu energie a acestora.

Pentru reducerea pierderilor de energie şi de tensiune, schemele de conexiuni alese trebuie să asigure legături scurte între sursele de alimentare şi consumatori, tensiunile utilizate să corespundă distanţelor şi valorii sarcinilor, iar numărul treptelor de transformare a tensiunii electrice trebuie să fie cît mai mic posibil.

## 1. Rețele electrice comunale de joasă tensiune

Rețelele electrice comunale de joasă tensiune alimentează cu energie electrică consumatori urbani sau rurali, formați din iluminatul public și particular, aparate electrocasnice, motoare mici (pentru hidrofoare, ascensoare sau ventilatoare), precum și mici ateliere sau întreprinderi industriale. Distribuția energiei electrice se face printr-o rețea de joasă tensiune de 380/220 V, alimentată de la o rețea de înaltă tensiune de 10 (6) sau 20 (15) kV.

Schemele de conexiuni ale unor astfel de rețele se pot încadra într-una dintre cele două configurații de bază, radiale sau buclate.

**Rețele radiale.** Cea mai simplă rețea comunală este cea radială, *arborescentă* sau *deschisă*, reprezentată în figura 7.16. Ea este formată dintr-o serie de linii de distribuție, alimentate de la barele de joasă tensiune ale unui post de transformare, la care se racordează consumatorii.

Aparatele de protecție simple și sigure sînt formate din siguranțele $S_1$, $S_2$ și $S_3$, care se montează pe liniile de distribuție de joasă tensiune, pe derivațiile acestora și pe liniile de racord către consumatori. Alegerea siguranțelor trebuie astfel făcută încît *protecția să fie selectivă*, adică în cazul unei avarii să fie deconectată numai porțiunea de rețea defectă. În acest scop, fuzibilele fiecărei trepte următoare, începînd de la consumatori spre barele postului de transformare, trebuie alese după scara curenților nominali, cu o treaptă mai sus decît fuzibilul anterior.

Rețelele radiale sînt simple și ușor de exploatat, însă au o siguranță în alimentare redusă, deoarece în cazul unui defect sînt scoși din funcțiune toți consumatorii în aval de fuzibilul topit. Dacă defectul are loc pe barele postului de transformare, întreaga rețea va fi deconectată, adică rețeaua radială *nu are nici o rezervă în caz de avarie*. De aceea, ea se utilizează, în general, la sate sau în orașe mici, pentru alimentarea unor consumatori de mică importanță (categoria III), care pot suporta, fără grave consecințe, întreruperi de cîteva ore sau chiar mai mult. Construcția lor este, de regulă, aeriană.

**Rețelele buclate.** Pentru mărirea siguranței în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor se folosesc rețelele electrice care permit alimentarea lor pe două sau chiar pe mai multe căi și de la mai multe posturi de transformare.

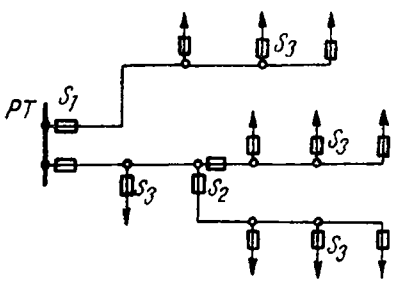



Fig. 7.16. Schema radială a unei rețele de distribuție de joasă tensiune.

Linia alimentată de la două capete, reprezentată în figura 7.17, constituie un prim pas spre schema de conexiuni buclată, care se utilizează în localități mai importante.

În varianta *a*, la un defect pe linia de distribuție, prin topirea siguranțelor $S_1$ și $S_2$, iese din funcțiune întreaga instalație. În varianta *b* acest inconvenient se elimină cu ajutorul siguranței $S_3$, montată la mijlocul liniei, al cărei fuzibil are un curent nominal mai mic decît cel al siguranțelor $S_1$ și $S_2$. În acest fel, la

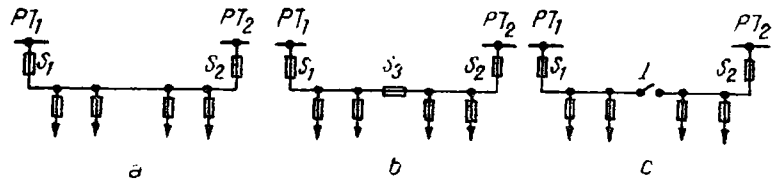



Fig. 7.17. Schemă simplu buclată a unei rețele de distribuție de joasă tensiune.

un scurtcircuit pe unul dintre cele două tronsoane se va arde mai întîi siguranța $S_3$ și apoi, fie siguranța $S_1$, fie siguranța $S_2$, unul dintre tronsoane rămînînd alimentat în continuare. În cazul defectului la unul dintre posturile de transformare, consumatorii rămîn alimentați de la un capăt printr-o rețea radială.

Rețeaua buclată de joasă tensiune impune introducerea în rețeaua de alimentare de înaltă tensiune a unei protecții mai sensibile, ceea ce conduce la o creștere apreciabilă a costului rețelei în ansamblu. De aceea, mai ales în orașe mai mici, se utilizează varianta *c* în care, la mijlocul liniei, este montat întreruptorul *I* care în funcționare normală este deschis. La avarierea unui tronson consumatorii vor putea fi alimentați de la un singur post de transformare, prin închiderea întreruptorului respectiv.

Prin folosirea diferitelor posibilități de conectare a liniilor de distribuție alimentate la două capete se obțin scheme de rețele buclate ca cele din figura 7.18.

În varianta *a* (rețea buclată longitudinal), posturile de transformare în număr de patru pînă la șase, sînt alimentate de la aceeași linie de înaltă tensiune, iar rețeaua de joasă tensiune este formată dintr-o serie de linii de distribuție alimentate la două capete, din posturi de transformare diferite. Față de rețeaua radială, această variantă prezintă avantaje, deoarece se îmbunătățește nivelul tensiunii la consumatori, se reduc pierderile de energie și crește gradul de siguranță în alimentare. Totuși, se observă că orice defect produs în linia de înaltă tensiune poate întrerupe alimentarea consumatorilor pe partea de joasă tensiune.

În varianta *b* (rețea buclată transversal) posturile de transformare sînt alimentate cu ajutorul a două linii de înaltă tensiune. Ea oferă, pe lîngă avantajele prezentate la varianta *a*, un grad de siguranță sporit în alimentarea consumatorilor, atît în cazul unei avarii în rețeaua de înaltă tensiune, cît și la defecte în transformatoare. Din punct de vedere economic este însă mai scumpă, deoarece impune echiparea posturilor de transformare cu întreruptoare automate și relee direcționale sau cu siguranțe riguros calibrate, pentru a asigura deconectarea selectivă în cazul unui defect în rețeaua de înaltă tensiune. Din această cauză, ea este recomandată numai dacă este prevăzută trecerea la o schemă complex buclată.

În orașele mari se folosește schema de *rețea de joasă tensiune complex buclată*, care reprezintă combinații între schema buclată longitudinal și cea buclată transversal.

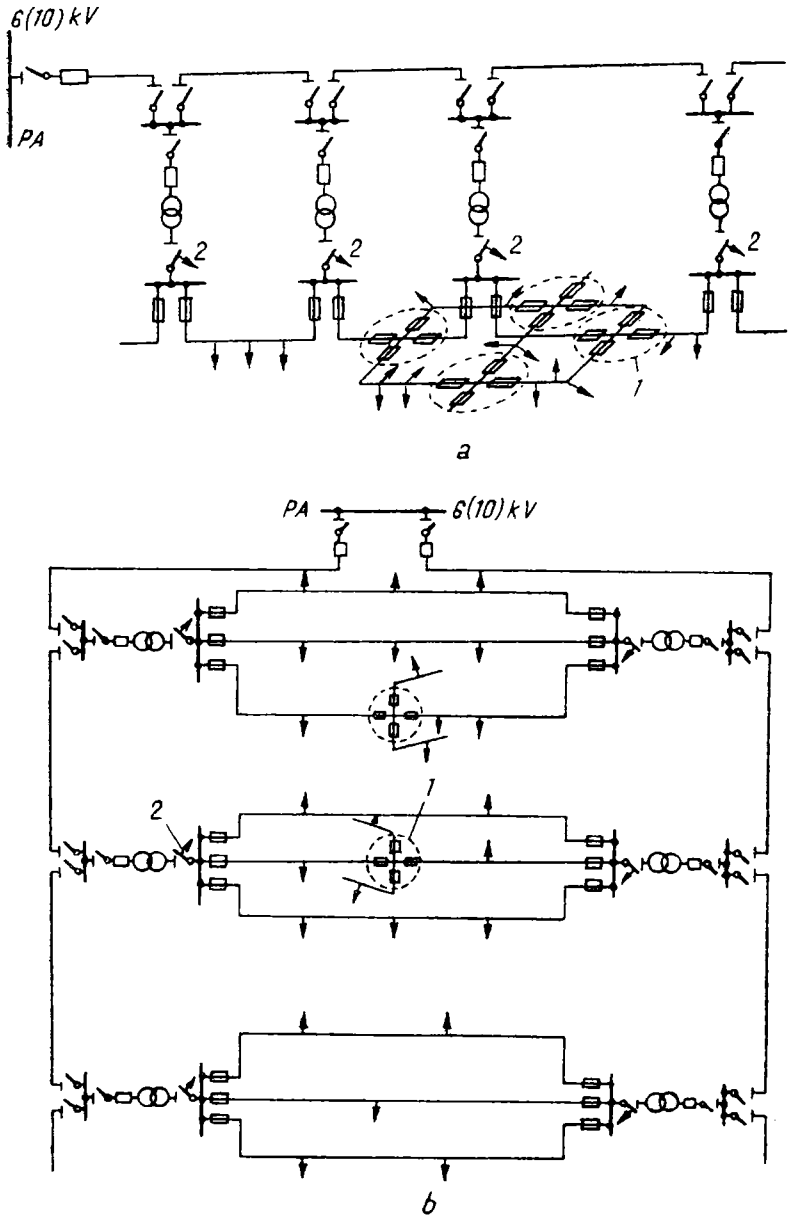



Fig. 7.18. Scheme buclate ale rețelelor de distribuție de joasă tensiune :
*a* — buclată longitudinal ; *b* — buclată transversal ; *1* — cutie de distribuție ; *2* — întrerupător automat care poate fi înlocuit și cu siguranțe.

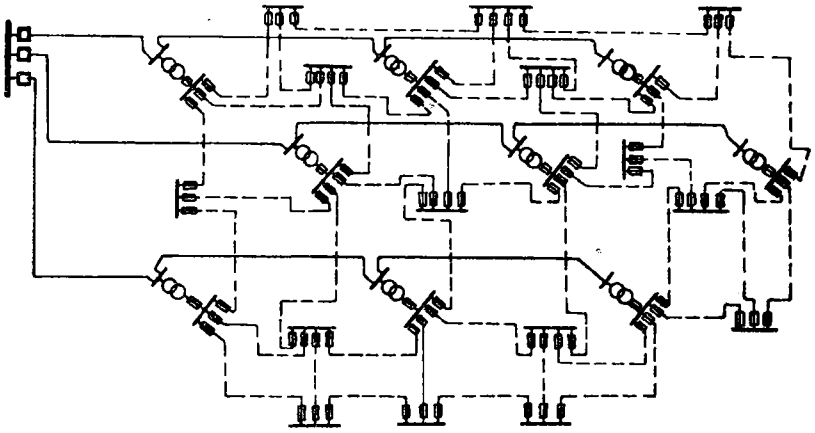


Fig. 7.19. Schema complex buclată a unei rețele de joasă tensiune.

Ea are aspectul unei plase, ca în figura 7.19, în care în nodurile rețelei sînt conectate posturile de transformare, alimentate de la liniile de înaltă tensiune. O astfel de schemă asigură alimentarea fiecărui consumator pe cel puțin două căi, cu pierderi de energie și variații de tensiune mai mici, ca urmare a faptului că fiecare consumator este alimentat de la postul de transformare cel mai apropiat. Acest lucru permite conectarea directă (fără dispozitive de pornire) a unor motoare electrice cu rotor în scurtcircuit sau a altor aparate cu puteri unitare mai mari decît acelea care ar fi permise în cazul altor tipuri de rețele.

În cazul unui defect pe un cablu de înaltă tensiune va declanșa mai întîi întreruptorul din punctul de alimentare prevăzut cu protecția maximală; deoarece defectul rămîne alimentat prin rețeaua de joasă tensiune, declanșează și întreruptoarele automate echipate cu relee direcționale din posturile de transformare racordate la cablul respectiv. În acest fel, defectul este selectat, cablul fiind deconectat de la ambele surse de alimentare.

Protecția rețelelor buclate de joasă tensiune este realizată, fie cu siguranțe de diferite tipuri, a căror densitate depinde de importanța și sarcinile consumatorilor dintr-un anumit sector, fie, uneori, folosindu-se fenomenul de autoizolare.

Separarea selectivă a posturilor defecte se face mai ales cu siguranțe cu mare putere de rupere, cu caracteristică lentă în domeniul de scurtcircuit, care nu deconectează la diferite șocuri de scurtă durată ce pot apărea în rețea. Ele se montează în toate nodurile rețelei.

Protecția rețelelor folosind fenomenul de autoizolare se bazează pe efectul termic al curentului la locul de defect. Înlăturarea scurtcircuitului este realizată în mod natural, prin arderea cablului în porțiunea avariată, datorită arcului electric care apare în anumite condiții. Arderea se efectuează într-un timp foarte scurt, care nu depășește 1 s, iar stingerea arcului are loc ca urmare a scăderii tensiunii în locul defect și a degajării din izolația cablului a unor gaze deionizate, cu care se realizează suflajul acestuia.

Fenomenul de autoizolare se poate utiliza în mod sigur în rețelele subterane cu tensiuni pînă la 380 V, dacă intensitatea curenților de scurtcircuit este cuprinsă în anumite limite. În cazul unei rețele de 380 V formată din cabluri

de cupru cu secţiunea de 95 mm$^2$, autoizolarea este eficientă dacă valoarea curenţilor de scurtcircuit este cuprinsă între limitele de 1,5 şi 20 kA*. Dacă curentul de scurtcircuit este mai mare, arderea arcului este favorizată, iar dacă este mai mică, degajarea de gaze deionizate poate fi insuficientă pentru stingerea arcului.

Uneori, în aceste reţele se instalează suplimentar siguranţe cu inerţie termică mare, care au rolul ca în cazul în care arcul nu se stinge să deconecteze totuşi cablul defect, pentru a se evita arderea acestuia pe o lungime prea mare. În anumite cazuri reţelele pot fi protejate chiar cu automate.

Exploatarea reţelelor complex buclate este dificilă, deoarece depistarea şi izolarea defectului, precum şi restabilirea alimentării cu energie electrică, după o întrerupere, prezintă dificultăţi. Din această cauză, buclarea se realizează pe sectoare, care nu acoperă regiuni prea întinse, cu multe posturi de transformare, a căror putere, la tensiunea de 10 kV, nu depăşeşte 5—7 MVA.

## 2. Reţele electrice comunale de înaltă tensiune

Reţelele electrice comunale de înaltă tensiune asigură alimentarea posturilor de transformare sau punctelor de alimentare de la centralele electrice sau de la staţiile de transformare coborîtoare ale sistemului electroenergetic. Tensiunea lor nominală poate fi 10 (6) şi 20 (15) kV.

Schemele lor de conexiuni se pot împărţi în două categorii :

— cu *distribuţie directă ;*

— cu *puncte de alimentare.*

În primul caz, în schema de conexiuni posturile de transformare sînt alimentate prin linii de distribuţie, denumite *distribuitoare,* conectate direct la barele centralelor sau ale staţiilor de transformare coborîtoare.

În al doilea caz, schema de conexiuni are prevăzute puncte de alimentare racordate la *fiderii* sau la *liniile de alimentare* de înaltă tensiune, care vin de la barele centralelor sau ale staţiilor de transformare coborîtoare. Aceste scheme cuprind două reţele distincte cu aceeaşi tensiune, şi anume : *reţeaua de alimentare* sau *reţeaua de fideri* şi *reţeaua de distribuţie propriu-zisă.*

Utilizarea reţelelor electrice comunale cu puncte de alimentare este avantajoasă din punct de vedere economic, atît în cazul oraşelor cu densităţi mari de sarcină (peste 2 MVA/km$^2$), cît şi în cazul unor localităţi cu densităţi de sarcină mai mici, însă întinse pe suprafeţe mari.

**Schemele de conexiuni ale reţelelor de alimentare.** Aceste scheme depind de numărul punctelor de alimentare ale sectorului respectiv şi se împart în : radiale şi buclate.

*Reţeaua de alimentare radială* reprezentată în figura 7.20 necesită investiţii reduse, o protecţie simplă şi o exploatare uşoară. Ea are inconvenientul gene-

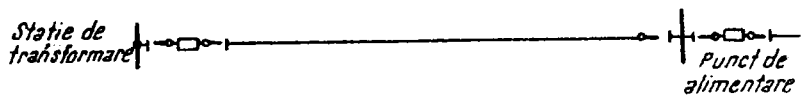



Fig. 7.20. Schema radială a unei reţele de alimentare.

* În realitate intensitatea curenţilor de scurtcircuit este totdeauna mai mică, datorită rezistenţei arcului.

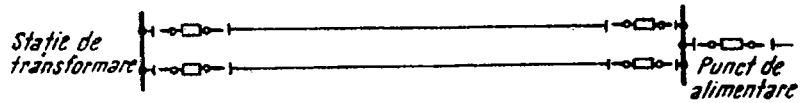



Fig. 7.21. Schema radială cu două cabluri în paralel a unei rețele de alimentare.

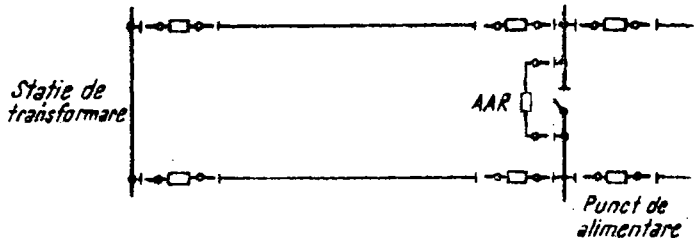



Fig. 7.22. Schema radială cu două cabluri în paralel, cu barele punctului de alimentare secționate.

ral al rețelelor radiale și anume că, în cazul unui defect pe barele stației de transformare sau pe fider, punctul de alimentare rămîne fără tensiune, deci consumatorii rămîn nealimentați. Acest dezavantaj poate fi evitat dacă se dublează fiderul de alimentare, obținîndu-se o *rețea radială cu doi fideri*, ca în figura 7.21. Dacă rețeaua este prevăzută cu o protecție bună și este dimensionată corespunzător, ea poate asigura alimentarea consumatorilor, chiar în cazul apariției defectului pe unul dintre fideri. În acest caz, dimensionarea fiderilor se face astfel încît fiecare să poată prelua întreaga sarcină a punctului de alimentare, menținîndu-se deci o rezervă de 100% în fideri.

Pentru a se evita creșterea curenților de scurtcircuit, menținîndu-se avantajul alimentării prin mai mulți fideri, se secționează barele punctului de alimentare și se introduce cupla longitudinală prevăzută cu dispozitiv de anclanșare a rezervei (*AAR*), ca în figura 7.22. În funcționare normală cupla este deschisă, închizîndu-se automat cînd pe una dintre secțiile de bare a dispărut tensiunea. Deconectarea consumatorilor poate fi evitată chiar în cazul unui defect pe barele stației de transformare, dacă se secționează și sistemul de bare al acesteia, alimentarea fiecărui fider fiind realizată de la secții de bare diferite.

*Rețeaua de alimentare buclată* cuprinde un sector care poate avea două sau mai multe puncte de alimentare. În figura 7.23 este reprezentată o schemă simplă, în care buclarea este asigurată prin legătura dintre cele două puncte de alimentare, care în funcționare normală este deschisă. Închiderea ei în regim de avarie este asigurată prin dispozitivul *AAR*. Fiecare fider al rețelei de alimentare este dimensionat pentru a putea prelua sarcinile ambelor puncte de alimentare.

În figura 7.24 este reprezentată o schemă de conexiuni cu două puncte de alimentare fiecare putînd funcționa atît buclat, cît și radial cu *AAR*.

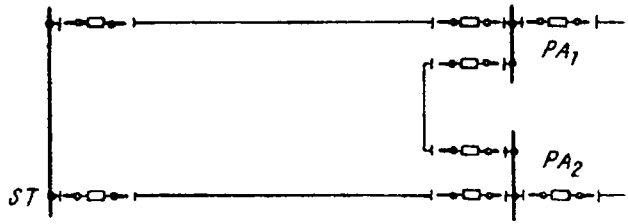



Fig. 7.23. Schema buclată a unei rețele de alimentare cu doi fideri.

O schemă de conexiuni cu trei puncte de alimentare și trei fideri este reprezentată în figura 7.25, în care buclarea este asigurată în același mod ca în figura 7.23. În acest caz, toți fiderii pot fi dimensionați numai pentru 50% din sarcina consumatorilor. În figura 7.26 este reprezentată o schemă mai sigură care, spre deosebire de cea din figura 7.25, are un al patrulea fider de rezervă FR. În funcționare normală alimentarea este radială, deoarece întreruptoarele cuplelor prevăzute cu dispozitive *AAR* sînt normal deschise. La producerea unei avarii pe oricare dintre fiderii de alimentare este introdus fiderul de rezervă prin intermediul întreruptorului corespunzător *I*, echipat cu dispozitive de anclanșare *AAR*.

**Schemele de conexiuni ale rețelelor de distribuție propriu-zise.** În cadrul acestor rețele de distribuție, barele posturilor de transformare sînt legate cu punctele de alimentare sau eventual direct cu centralele electrice sau stațiile de transformare coborîtoare din sistem. Schemele lor de conexiuni cele mai simple sînt radiale, ca cea reprezentată în figura 7.27. Ea are dezavantajul că în cazul unei avarii conduce la întreruperi de lungă durată. În astfel de rețele, pentru creșterea selectivității protecției pe ramurile cele mai importante, se montează întreruptoare prevăzute de obicei cu dispozitive *AAR*, care contribuie la eliminarea defectelor trecătoare și prin aceasta, la o reducere apreciabilă a întreruperilor în alimentare. Creșterea siguranței în alimentarea consumatorilor se realizează cu schema din figura 7.28, în care posturile de transformare sînt alimentate simultan de la două linii de distribuție (distribuitoarele $D_1$ și $D_2$).

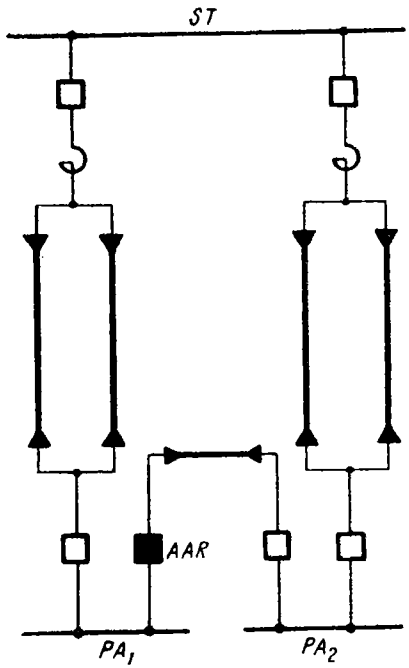



Fig. 7.24. Schema buclată a unei rețele de alimentare cu două puncte de alimentare.

În funcționare normală, fiecare distribuitor alimentează radial jumătate din numărul posturilor de transformare. În acest fel se reduc atît pierderile

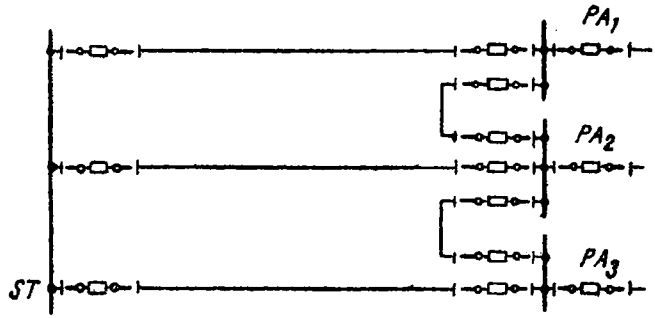



Fig. 7.25. Schema buclată a unei rețele de alimentare cu trei fideri.

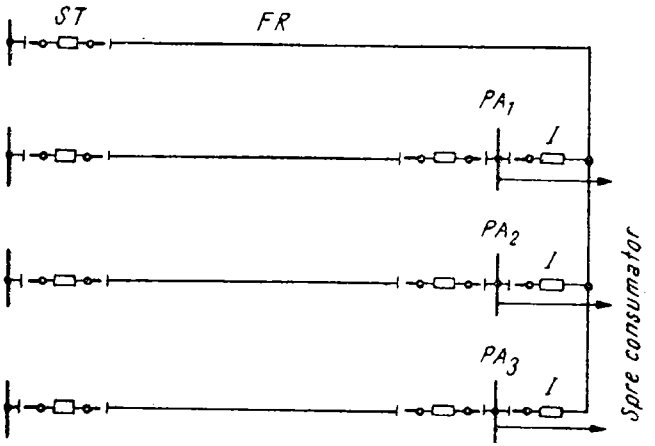



Fig. 7.26. Schema buclată a unei rețele de alimentare cu patru fideri, unul fiind de rezervă.

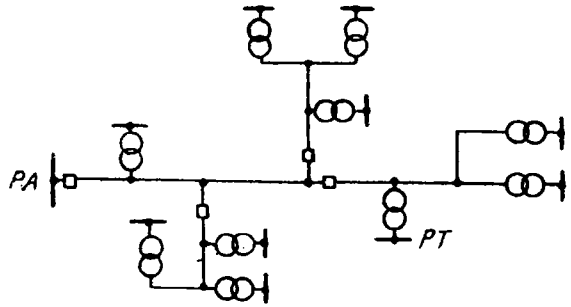



Fig. 7.27. Schema radială a unei rețele de distribuție.

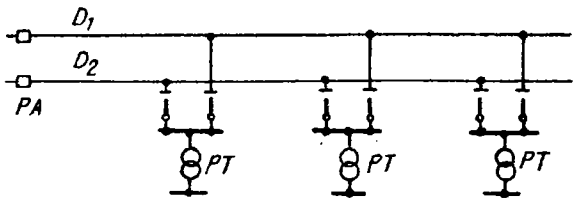



Fig. 7.28. Schema buclată a unei rețele de distribuție cu posibilitate de funcționare radială.

de tensiune, cît și pierderile de putere. La producerea unui scurtcircuit pe unul dintre distribuitoare, posturile de transformare alimentate de distribuitorul defect sînt comutate pe celălalt distribuitor.

Racordarea posturilor de transformare la distribuitoare se poate face fie prin separatoare, în care caz durata întreruperii după defect este mai mare, fie prin întreruptoare, cînd manevrele efectuate automat sînt mult mai rapide și durata întreruperii este mai mică.

Creșterea siguranței în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor a dus la necesitatea creării unor scheme de conexiuni a rețelelor de distribuție ca cea din figura 7.29, în care fiecare post de transformare are două transformatoare alimentate separat. Pe partea de joasă tensiune a fiecărui post de transformare se află instalate trei întreruptoare automate, dintre care în funcționare normală două ($I_1$ și $I_2$), sînt închise, iar al treilea ($I_3$) este deschis. Întreruptorul $I_3$ se închide pentru alimentarea în continuare a rețelei de joasă tensiune, cînd iese din funcțiune unul dintre transformatoarele postului sau o linie de distribuție din rețeaua de înaltă tensiune.

În regim normal rețeaua funcționează radial, iar pentru mai multă siguranță distribuitoarele se pot conecta la puncte de alimentare diferite.

Pentru a se obține o economie de material conductor se pot folosi și scheme de conexiuni multiplu buclate. În figura 7.30 este reprezentată o astfel de schemă cu trei distribuitoare care, fiind dublu buclată, face ca sarcinile în

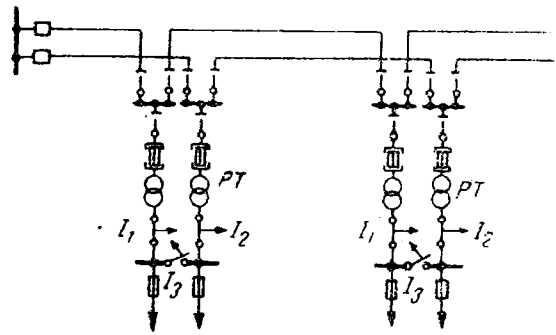



Fig. 7.29. Schema buclată a unei rețele de distribuție cu posturi de transformare alimentate de la distribuitoare diferite.

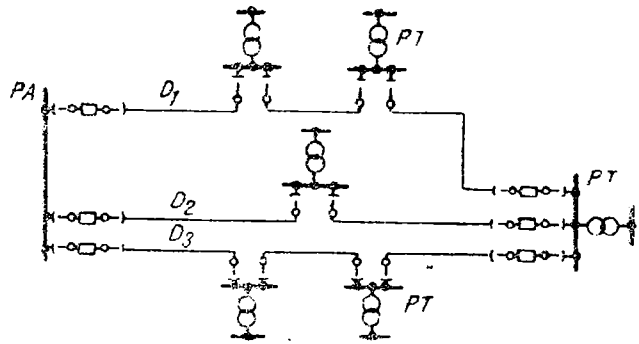



Fig. 7.30. Schema cu două bucle a unei rețele de distribuție.

regim de avarie și deci cantitatea de material conductor, să crească numai cu 50% față de regimul normal, nu cu 100% ca în cazul schemelor din figurile 7.27 și 7.28.

Pentru alimentarea localităților mari există și alte scheme de conexiuni buclate mai complexe, care însă rezultă din combinarea celor prezentate.

## E. EXPLOATAREA INSTALAȚIILOR DE DISTRIBUȚIE DIN REȚELELE COMUNALE

Această exploatare constă din ansamblul de măsuri care trebuie luate de către întreprinderile de electricitate, cărora le aparțin rețelele electrice comunale, pentru a asigura condițiile necesare funcționării lor normale, fie prin acțiuni care să prevină apariția unor avarii, fie cînd acestea apar, prin repararea în timp cît mai scurt a elementelor avariate, în vederea reducerii la minimum a întreruperilor în alimentarea cu energie a consumatorilor. Exploatarea lor în bune condiții crește gradul de siguranță în funcționare a rețelelor electrice comunale.

Instalațiile de distribuție se verifică periodic după un anumit grafic, în conformitate cu condițiile locale. Revizia posturilor de transformare și a punctelor de alimentare se efectuează fără scoaterea din funcțiune a instalațiilor și ea trebuie să urmărească starea generală a clădirii, starea și etanșeitatea ușilor și a ferestrelor, starea legării la pămînt a ușilor și tuturor porților metalice, existența și starea jaluzelelor și a plasei din deschizăturile pentru ventilație, curățirea gropii pentru ulei etc. La posturile de transformare aeriene se va verifica starea platformei transformatorului și a lemnăriei în general, a scărilor, a cutiei cu tabloul de joasă tensiune, lipsa urmelor de conturnare pe stîlpi etc.

Se vor revizui, la toate instalațiile, sistemul de bare și echipamentul electric al acestora — separatoare, întreruptoare, siguranțe, transformatoare de curent și de tensiune, izolatoare, urme de supraîncălziri și ciupituri la contacte etc.

La transformatoare se va verifica aspectul exterior al acestora, fără a fi deconectate, urmărindu-se în special eventuale scurgeri de ulei, nivelul și temperatura acestuia, caracterul zgomotului transformatorului (după caz) și existența gazului în releul de gaze. După culoarea gazului acumulat în sticla de gaze a releului, precum și după mirosul și inflamabilitatea acestuia, se poate constata starea interioară a transformatorului. Un gaz cenușiu sau negru, ușor inflamabil, constituie un indiciu al unei avarii interioare a transformatorului, însoțită de o descompunere a uleiului. În acest caz, transformatorul va fi imediat deconectat pentru revizia miezului. De asemenea, se va controla temperatura uleiului în transformator, care trebuie să nu depășească 85° C în straturile superioare și nivelul acestuia din sticla indicatorului de ulei. Nivelul uleiului și eventualele scurgeri care pot avea loc pe sub capac sau din cuvă, vor fi verificate și la instalațiile de distribuție prevăzute cu întreruptoare cu ulei.

Atît de la transformatoarele posturilor, cît și de la întreruptoarele cu ulei, se vor lua probe de ulei pentru încercare și se va completa nivelul cu ulei curat.

Vor fi revizuite instalațiile de legare la pămînt, pînă la intrarea conductorului în pămînt, precum și *descărcătoarele electrice.*

Verificarea separatoarelor și întreruptoarelor cu pîrghie se va face în ceea ce privește denivelarea cuțitelor la intrarea lor în contacte. Dacă separatorul are un clichet (zăvor), atunci deschiderea acestuia trebuie să aibă loc numai după dezăvorîrea clichetului prin tragerea cîrligului sau inelului zăvorului.

Cînd se face revizia posturilor de transformare și a punctelor de alimentare, la termene stabilite, atunci verificarea echipamentului se face în stare deconectată de la rețea. În acest caz, în afara reviziei exterioare, se efectuează curățirea aparatajului și verificarea stării tuturor contactelor acestora, măsurarea cu megohmmetrul a rezistenței izolației aparatelor și sistemului de bare (care nu se află sub tensiune). Verificarea se va încheia cu punerea sub tensiune a echipamentului după care, dacă nu se constată defecte, instalația respectivă rămîne definitiv sub sarcină.

În afara acestor verificări periodice, este necesar să se facă o revizie pe an a instalațiilor, în perioada sarcinilor mici — vara, cînd condițiile de conductivitate a solului sînt cele mai grele. În acest caz, la transformatoarele de putere se verifică etanșeitatea cuvelor și rezistența ohmică a înfășurărilor; la transformatoarele de tensiune se verifică calitatea uleiului și se completează nivelul necesar acestuia; la întreruptoarele cu ulei se curăță contactele, se verifică simultaneitatea cuplării contactelor și apăsarea lor, remediindu-se eventualele dereglări, precum și starea generală interioară a acestora.

Repararea transformatorului prin decuvare este considerată a fi reparație capitală. Din practica exploatării, s-a constatat că, în condițiile unei supravegheri permanente a calității uleiului, decuvarea transformatorului nu trebuie să se facă decît o dată la 12 ani. Nesupravegherea acestuia poate duce la defectări ale transformatorului după un interval de timp mult mai scurt.

Izolația sistemului de bare se verifică o dată la 1—3 ani cu tensiune ridicată. În același mod, se verifică izolația întreruptoarelor, a transformatoarelor de curent, precum și descărcătoarele la tensiunea de regim și la curentul de descărcare al acestora.

Rezultatele reviziilor, reparațiilor și încercărilor se înscriu în registre, iar în caz de necesitate se întocmesc procese-verbale.

Capitolul 8

# ILUMINATUL ELECTRIC EXTERIOR

Iluminatul electric asigură continuarea activităţilor umane în condiţiile lipsei luminii naturale şi anume: în timpul nopţii, în timpul zilei, cînd lumina naturală este insuficientă sau chiar zi şi noapte, atunci cînd se lucrează în spaţii fără lumină naturală.

Din punctul de vedere al caracteristicilor spaţiului în care se realizează, iluminatul electric poate fi iluminat interior, în cazul spaţiilor închise şi iluminat exterior în spaţii deschise, în care se include şi iluminatul public realizat în zonele destinate circulaţiei publice.

## 1. Iluminatul arterelor de circulaţie

Pentru a se rezolva corespunzător această problemă trebuie să se aibă în vedere: iluminarea şoselei sau a străzii, efectele de siluetă, de umbră şi de orbire, efectul arborilor şi al pavajului şi timpul în care trebuie observat obiectul.

Trebuie să se mai considere de asemenea luminanţa obiectelor de pe arterele de circulaţie, care depinde de iluminarea dată, dar şi de factorul de reflexie difuză. Ca exemplu, între luminanţa unei şosele noi de beton şi a uneia gudronate există raportul 1/6, ceea ce arată că pentru a avea aceeaşi luminanţă şi pentru şoseaua gudronată este necesară o iluminare de şase ori mai mare faţă de cea a şoselei betonate.

Corpurile de iluminat folosite pentru iluminatul arterelor de circulaţie sînt asimetrice şi cu repartiţia directă sau semidirectă.

La lumina artificială perceperea obiectelor se face în special datorită contrastelor de luminanţă prin efectele de siluetă şi de umbre, şi este înrăutăţită de efectul de orbire.

*Efectul de siluetă* se face remarcat prin faptul că obiectele sînt văzute din depărtare, îndeosebi datorită faptului că planurile în faţa cărora se găsesc au strălucriri mai mari decît ele. Astfel pentru căile de circulaţie din oraşe fondul îl constituie pavajul, trotuarele şi faţadele clădirilor, care au factori de reflexie relativ mari şi care apar mai luminoase decît vehiculele şi pietonii.

*Efectul de umbră*, fie împreună cu cel de siluetă, fie separat, permite să se pună în evidenţă obiecte sau obstacole. Obstacolele din drum (pietre, cărămizi etc.) pot fi văzute atît din cauza siluetei lor sau a umbrelor pe care le produc, cît şi prin reflexia suprafeţei lor.

Gropile şi denivelările trotuarului şi ale pavajului sînt, de asemenea, văzute în mod obişnuit prin umbrele pe care le produc.

*Efectul de orbire* provoacă o înrăutăţire sensibilă a condiţiilor de vedere şi el trebuie să fie eliminat îndeosebi la iluminatul căilor publice. Orbirea este puternică atunci cînd sursa de lumină este astfel aşezată încît poate fi văzută sub un unghi de 15° faţă de orizontală şi se accentuează cînd unghiul se micşorează sub 6—8°. Pentru aceasta este bine ca lămpile să fie aşezate cît mai sus ţinîndu-se însă seamă de mediul înconjurător (arbori) şi de considerente economice şi estetice. Folosirea globurilor difuzante pentru reducerea fenomenului de orbire nu dă rezultate, deoarece diametrul globului faţă de distanţă este mic şi sursa luminoasă pare tot punctiformă.

Dacă se dispune numai de surse puternice, amplasate la distanţe mari între ele, trebuie aşezate la înălţimi cît mai mari, în afara cîmpului vizual, pentru a se evita fenomenul de orbire. Aceste înălţimi variază de la 5,5 m pentru lămpi de 100 W la 8,5 m pentru lămpi de 1 000 W.

*Efectul arborilor* existenţi de-a lungul părţii carosabile constituie încă un element de care trebuie să se ţină seamă la stabilirea sistemului de iluminat. Dacă sînt arbori înalţi sursele se pot plasa sub ramurile inferioare ale acestora sau, dacă nu este posibil, se vor plasa în afara liniei arborilor.

**Aşezarea corpurilor de iluminat** de-a lungul şoselei are, în general, următoarele patru posibilităţi :

— aşezarea axială folosită pentru căile înguste, la care înălţimea de suspendare a corpului este mai mare decît lăţimea şoselei. Sursele sînt fixate pe stîlpi (fig. 8.1, *a*), sau mai des suspendate pe sîrme transversale (fig. 8.1, *b*). Dacă sînt arbori pe marginea şoselei trebuie avut grijă ca aceştia să nu reducă iluminarea trotuarului ;

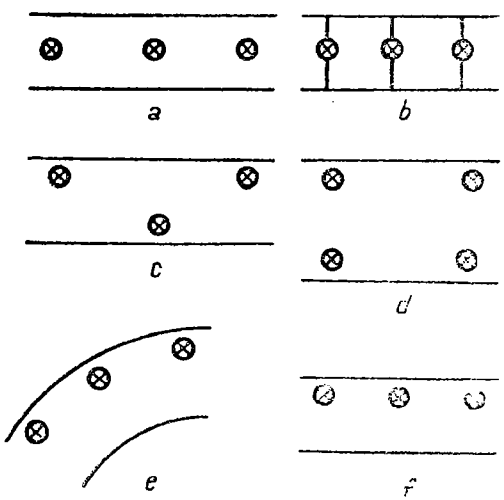



Fig. 8.1. Posibilităţi de amplasare a lămpilor de-a lungul şoselelor.

— aşezarea pe ambele părţi alternată sau zigzag (fig. 8.1, *c*), folosită frecvent. Sursele sînt aşezate la distanţă mică de marginea trotuarului, iar centrele luminoase sînt dirijate fie lîngă suport, fie deasupra părţii carosabile. La străzi înguste, corpurile de iluminat pot fi fixate şi pe console montate în pereţii clădirilor ;

— aşezarea pe ambele părţi faţă în faţă (fig. 8.1, *d*), folosită în cazul căilor de circulaţie largi. Distanţa dintre corpuri se ia, în general, egală cu lăţimea şoselei.

Această așezare se adoptă pe căile de circulație, unde trebuie avut în vedere aspectul estetic;

— așezarea pe aceeași parte a căii sau unilaterală, folosită îndeosebi pe porțiunile curbe. Pentru a se crea o vizibilitate mai bună sursele se plasează pe partea exterioară a curbei (fig. 8.1, *e*). De asemenea, această așezare se mai folosește dacă lățimea străzii este egală sau mai mică decît înălțimea de suspendare a sursei (fig. 8.1, *f*).

Așezarea corpurilor de iluminat de-a lungul șoselelor se face pe o singură parte la distanțe de 35—45 m pentru șosele cu lățimea pînă la 10 m. Dacă lățimea este mai mare de 10 m, corpurile de iluminat se așază pe ambele părți, în zigzag, la intervale de 35—50 m pentru șosele de culoare închisă și la 50—60 m pentru șosele de culoare deschisă. Lămpile de pe fiecare parte se alimentează de la surse separate. În cazul șoselelor cu două căi de circulație corpurile de iluminat se așază pe peluza centrală, iar nivelul de iluminare se mărește la curbe, la intersecții și în apropierea orașelor.

În ceea ce privește *nivelele de iluminare*, în țara noastră, localitățile au fost împărțite în trei grupe, după numărul de locuitori și după importanța localității, și anume:

— municipiul București și celelalte municipii;

— capitalele de județ, orașele cu peste 25 000 locuitori, stațiunile turistice și balnearo-climaterice mai importante;

— restul orașelor și comunelor.

Iluminatul șoselelor în afara localităților se face, din motive economice, numai în cazul unui trafic mare.

Lămpile folosite sînt cu vapori de sodiu sau de mercur, care durează mai mult, au eficacitate luminoasă mai mare și permit vederea și pe timp de ceață.

## 2. Iluminatul parcurilor și al spațiilor verzi

În general, pe aleile parcurilor se instalează un iluminat general, corespunzător unei iluminări de 1—6 lx, pentru asigurarea circulației pietonilor, realizat cu corpuri de iluminat decorative, cu lămpi cu incandescență sau fluorescente. În rest parcurile sînt iluminate local: grupuri de boschete, copaci monumentali, statui, fîntîni, terase de flori etc. Efectele plastice necesare se obțin prin contraste de luminanță, respectiv obiect întunecos pe fond luminos și invers, sau prin contraste și variații de culori.

Iluminarea grupurilor de arbori și de boschete se face fie din interiorul acestora, cu corpuri de iluminat cu repartiție largă, fie din exterior, ascunzîndu-se corpurile de iluminat în boschetele vecine.

Pentru a se evidenția frumusețea obiectului se pot utiliza lămpi cu vapori de mercur pentru conifere, lămpi cu vapori de sodiu pentru frunziș de toamnă etc.

Iluminarea peluzelor și a teraselor de flori se execută cu corpuri de iluminat speciale, sub formă de ciuperci așezate la o înălțime sub 1 m, echipate cu lămpi cu incandescență sau cu vapori de mercur, ferite de privirea directă.

Dacă sînt și statui, acestea vor fi iluminate cu proiectoare cu fasciculul luminos dirijat, de obicei, de jos în sus și din mai multe direcții, pentru atenuarea umbrelor proprii.

La fîntîni se ilumineză obligatoriu jetul de apă cu proiectoare etanşe amplasate dedesubt şi orientate în sus atît la ridicarea cît şi la căderea apei. Efecte plastice deosebite se pot obţine prin jocuri de culori.

### 3. Iluminatul monumentelor de arhitectură şi al faţadelor

Scopul acestui iluminat este de a atrage atenţia asupra arhitecturii unor clădiri.

Iluminarea se realizează astfel încît clădirea sau faţada privită din depărtare să apară reliefată. Pentru aceasta, nu este indicat iluminatul uniform care atenuează amănuntele arhitecturale.

Treimea inferioară a clădirii trebuie să aibă o luminanţă mai mică decît cele două treimi superioare, pentru a nu provoca fenomenul de orbire. De asemenea, pentru încadrarea clădirii în mediul înconjurător vor fi iluminate şi o parte din vecinătăţile ei.

Pentru camuflarea proiectoarelor, pot fi folosite, după condiţiile locale, zidurile, terenurile vecine, elementele ornamentale ale străzii, tufişuri sau boschete existente sau create în acest scop precum şi cornişe, balcoane etc. ale clădirii de iluminat. Se utilizează lămpi cu incandescenţă normale sau speciale ; cele cu vapori de sodiu sau de mercur se folosesc atunci cînd vederea culorilor interesează mai puţin. Pentru mărirea eficacităţii luminoase se pot combina lămpile cu incandescenţă cu cele cu descărcare în gaze.

Distanţa faţă de clădire a proiectoarelor este, de obicei, 2/3 din înălţimea clădirii, iar ca înălţime, pentru clădiri înalte de 10—22 m proiectoarele se pot aşeza pe sol ; peste această înălţime se aşază la 1/3 sau 2/3 din înălţimea faţadei.

La iluminarea faţadelor cu coloane, proiectoarele trebuie astfel aşezate încît lumina să vină de la dreapta la stînga, iar pentru a se reda relieful coloanelor este indicat să fie iluminată faţada din spatele coloanelor.

Pentru iluminatul decorativ al clădirilor şi al monumentelor se utilizează proiectoare de mare putere (2—3 kW) dacă sînt amplasate la distanţe mari (40—120 m) şi proiectoare de putere mică (0,5—1,5 kW) amplasate la distanţe mici (12—60 m).

Acestea din urmă permit scoaterea în evidenţă a detaliilor şi a siluetelor.

### 4. Iluminatul publicitar şi decorativ

Acest iluminat trebuie să satisfacă următoarele cerinţe :

— părţile de text să fie uşor de citit, adică să se realizeze un anumit raport între lăţimea literei luminoase, înălţimea ei, distanţa dintre litere şi înălţimea de montare ;

— să atragă atenţia, fie prin contrast de lumină sau culoare, fie prin mişcări (pîlpîire, stingere şi aprindere intermitentă, deplasare etc.) ;

— să atragă privirea şi să fie uşor de reţinut prin prezentarea ritmată a textului şi încadrat într-un motiv ornamental fix sau mişcător.

Se pot folosi lămpi cu incandescenţă sau cu descărcare în gaze, sau combinaţii ale acestora.

Iluminatul publicitar cu lămpi cu incandescență se poate realiza în una dintre următoarele variante:

— cu lămpi vizibile, lumina fiind emisă în general de elemente (litere, chenar, desene etc.). Pentru a se putea distinge literele este necesar, în general, ca detaliile ce urmează a fi văzute să nu fie mai mici decît 3/10 000 din distanța de la acestea pînă la ochi. Trebuie să se țină seamă și de condițiile de vizibilitate, respectiv de transparența atmosferei;

— cu ajutorul luminii transmise, care constă din litere luminoase din sticlă translucidă sau din panouri de sticlă translucidă. Ca realizare, se disting litere individuale, la care cutia are forma literei sau cutii la care una dintre fețe este din sticlă translucidă avînd desenate literele, de obicei cu culoare închisă. În ambele cazuri distanțele dintre lămpi sau de la lămpi la sticla translucidă trebuie să fie astfel aleasă încît să nu se producă pete luminoase;

— cu lumină indirectă sau reflectată, constînd din panouri cu litere luminoase independente, panouri cu efect de siluetă și placarde reclamă de diverse dimensiuni. În cazul publicității prin efectul de siluetă se iluminează fondul pe care sînt așezate literele, astfel încît ele să apară întunecate pe un fond luminos;

— cu tuburi luminoase de joasă sau de înaltă tensiune, avînd cea mai largă utilizare. Cele pentru joasă tensiune, în majoritate cu substanțe fluorescente, se folosesc în special pentru tipul de reclame din vitrine. Publicitatea cu tuburi luminoase se poate realiza cu programe secvențiale de aprindere și stingere, mișcări de figuri luminoase, inscripții succesive, fugi de lumină și umbre etc., ceea ce le mărește atractivitatea.

## 5. Iluminatul terenurilor sportive

La realizarea acestui iluminat, indiferent de sportul practicat, trebuie să se țină seamă de următoarele aspecte:

— obiectul privit este în mișcare și se deplasează pe fonduri diferite. Iluminarea terenului se face astfel, încît jucătorii să poată aprecia traiectoria obiectului (mingii) fără a fi orbiți iar direcția privirilor spectatorilor care urmăresc jocul să nu întîlnească sursele de lumină;

— pentru unele sporturi care se desfășoară și în înălțime (fotbal, volei etc.) trebuie realizată o iluminare în volum;

— pentru a nu obosi ochiul, uniformitatea trebuie să fie suficient de bună ($E_{min}/E_{max} = 1/2$), iar iluminarea spațiilor învecinate să reprezinte o treime din cea a terenului de joc;

— nivelele de iluminare trebuie să corespundă specificului diferitelor sporturi, respectînd valorile normate.

Iluminatul terenurilor de fotbal se realizează cu proiectoare cu lămpi cu incandescență de 1—3 kW, așezate în baterii, pe piloni metalici de 25—30 m înălțime, amplasați în spatele colțurilor terenului.

Terenurile de volei, baschet și tenis se iluminează cu reflectoare oglindate, echipate cu lămpi cu incandescență de 500 W, montate pe stîlpi de-a lungul porților laterale ale terenului și nu deasupra terenului. Panourile cu coșuri, la baschet, se iluminează suplimentar cu două proiectoare.

O bună iluminare a patinoarelor se realizează cu corpuri cu repartiție directă cu lămpi cu incandescență de 500—1 000 W suspendate pe cabluri deasupra ghețiі la 6—12 m.

La iluminarea bazinelor de înot trebuie să se evite orbirea înotătorilor și a spectatorilor prin reflexie de pe suprafața mișcătoare a apei. Se folosesc proiectoare amplasate de-a lungul marginilor laterale. Iluminatul se mai poate completa cu corpuri de iluminat instalate sub nivelul apei în pereții laterali ai bazinului.

Iluminatul pistelor de schi se face, în principiu, ca și iluminatul public, numai că la curbe așezarea corpurilor de iluminat trebuie făcută în interiorul acestora.

## 6. Iluminatul terenurilor industriale

Spațiile deschise cu caracter industrial sînt curțile uzinelor, cu sau fără activitate productivă, depozitele exterioare, utilajele industriale în aer liber, șantierele, triajele de cale ferată, rampele de descărcare etc. Se pot utiliza lămpi fluorescente, lămpi cu vapori de mercur de înaltă presiune sau proiectoare pentru spațiile mari.

Pentru iluminatul curților uzinelor, depozitelor etc. se pot folosi pentru amplasarea corpurilor de iluminat clădirile vecine sau stîlpi amplasați pe suprafața de iluminat.

În cazul triajelor și al instalațiilor portuare se folosesc baterii de proiectoare montate pe piloni și orientate în toate direcțiile. Acolo unde sînt necesare nivele de iluminare superioare se poate realiza un iluminat suplimentar.

La realizarea iluminatului terenurilor industriale este necesar să se țină seamă și de poluarea atmosferei care poate exista datorită specificului activităților desfășurate în spațiile respective.

## 7. Alimentarea cu energie electrică a iluminatului public

Soluția folosită curent constă în racordarea rețelei de iluminat public la barele de joasă tensiune ale unor transformatoare comune cu rețeaua pentru utilizare generală.

În orașele mari care au rețeaua de utilizare generală dimensionată pentru a putea prelua și sarcina iluminatului public s-a renunțat la extinderea rețelei separată pentru acesta, fiecare sursă luminoasă fiind racordată la rețeaua generală printr-un releu telecomandat prin curenți de frecvență audio pentru aprindere și stingere.

**Scheme de distribuție.** Acestea pot fi realizate, în cazul liniilor aeriene, cu neutrul comun cu cel al rețelei de utilizare generală, conductoarele de fază fiind separate și anume: unul singur, cînd iluminatul reprezintă 10% din sarcina generală, două pentru 25% și trei conductoare de fază pentru sarcini de iluminat peste 25% din sarcina generală.

În rețelele de cabluri se folosește și conductorul neutru separat cu una, două sau trei faze.

Pentru echilibrarea încărcării fazelor este necesar să se distribuie sursele luminoase cît mai uniform pe fiecare fază.

**Comanda iluminatului public.** În localităţile mici (rurale) comanda iluminatului se poate executa manual, cu întreruptoarele instalate direct în punctele de alimentare a iluminatului public. În localităţile mai populate se foloseşte comanda de la distanţă a iluminatului public, prin contactoare.

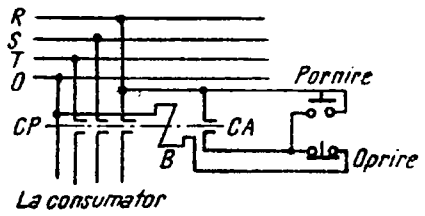



Fig. 8.2. Schema de comandă la distanţă a iluminatului electric.

În figura 8.2 este reprezentată o variantă pentru comanda la distanţă. Contactele principale *CP* şi cele secundare *CA* ale contactorului se închid cînd se apasă pe butonul „pornire", care în mod normal este deschis şi prin care se alimentează bobina *B*. La stingere se apasă pe butonul „oprire", prin care se întrerupe şi alimentarea bobinei.

Comanda la distanţă se realizează însă în localităţile mai mari prin sistemul *în cascadă* (fig. 8.3), prin care contactoarele sînt astfel legate între ele încît la un impuls primit de primul contactor $B_{c1}$ de la un ceas de comandă (sau manual, sau de la distanţă — telecomandă) se dă comanda aprinderii iluminatului public pe primul sector şi impulsul la un al doilea contactor $B_{c2}$. Acesta comandă un alt sector şi dă impuls la al treilea contactor $B_{c3}$ şi astfel, prin acest sistem în cascadă, se pot conecta sau deconecta dintr-un singur punct un număr de 8—10 sectoare.

**Tipuri de stîlpi pentru iluminatul public.** Reţelele pentru iluminatul public se execută aerian sau subteran.

Stîlpii folosiţi pentru iluminat sînt din lemn, metal, beton vibrat sau centrifugat şi au forme şi înălţimi diferite, urmărindu-se totodată şi obţinerea de efecte estetice. Se pot realiza stîlpi folosiţi numai pentru iluminatul public (fig. 8.4) sau pentru utilizare în comun, fie cu reţeaua de utilizare generală,

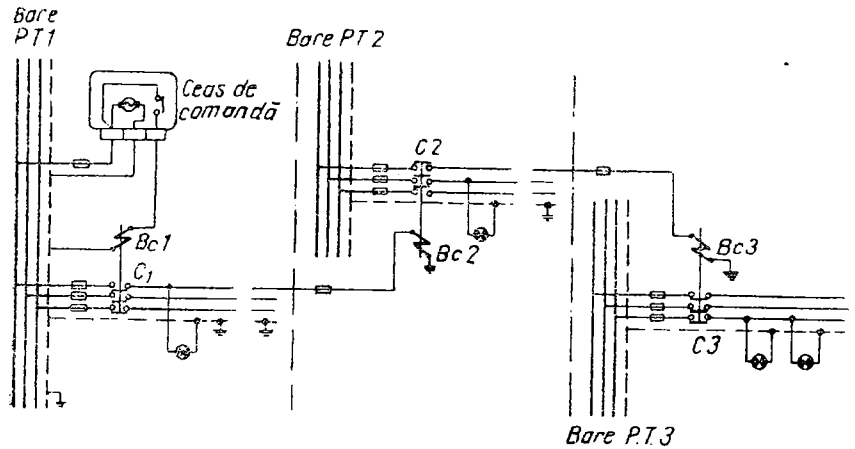



Fig. 8.3. Schema de principiu a funcţionării în cascade.

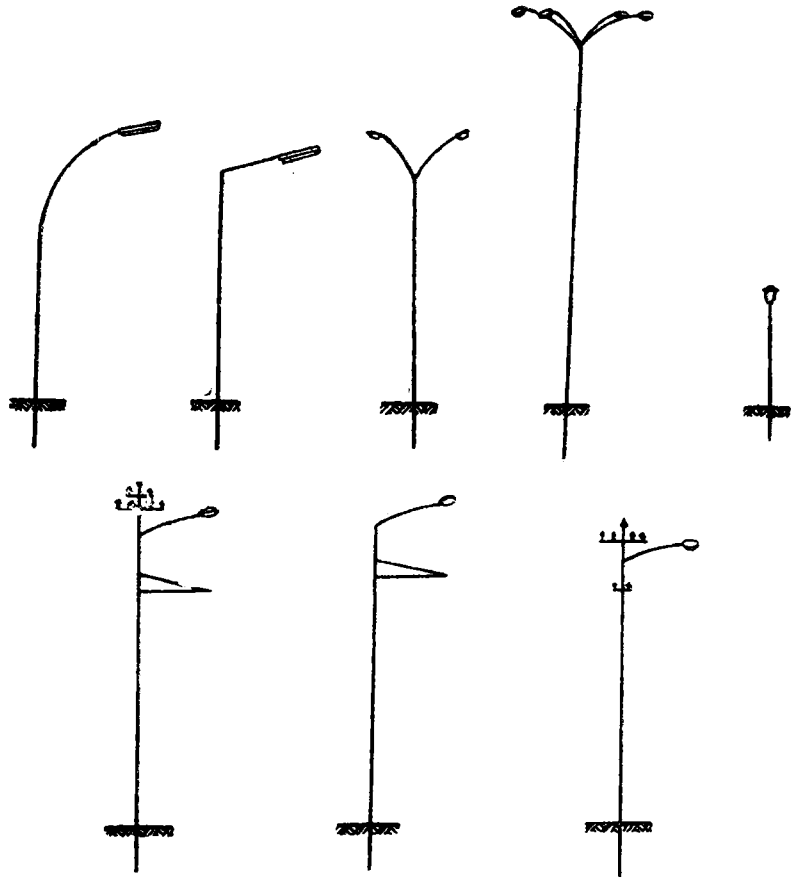


Fig. 8.4. Tipuri de stîlpi folosiți în rețelele electrice numai pentru iluminat sau de utilizare în comun.

de tracțiune și de radioficare, fie numai cu tracțiunea sau numai cu radioficarea și cu rețeaua generală. Stîlpii de folosință comună prezintă avantaje economice, dar creează dificultăți în exploatare.

## 8. Exploatarea și întreținerea iluminatului electric

Aceste activități au scopul ca, după realizarea și punerea în funcțiune a instalațiilor de iluminat exterior pentru oricare dintre obiectivele prezentate în acest capitol, să asigure menținerea parametrilor cît mai aproape de valorile inițiale.

Pentru aceasta este necesar să se întreprindă o serie de acțiuni, printre care se menționează următoarele:

— încă din faza de proiectare se vor prevedea amenajările necesare pentru a se permite accesul la instalație (pasarele, nivele tehnice etc.);

— procurarea utilajelor necesare lucrărilor de întreținere (scări mobile, scări telescopice, platforme mobile, macarale, cabine deplasabile etc.) și a

aparatelor și materialelor necesare (aspiratoare, material de întreținere curentă etc.) ;

— stabilirea perioadelor optime de curățire a instalațiilor (lămpi, corpuri și suprafețe difuzate) și executarea acestor lucrări conform graficului ;

— întocmirea unui program de înlocuire treptată a lămpilor uzate, pe baza duratei de funcționare a acestora, garantată de întreprinderea constructoare și care corespunde unei deprecieri avansate, fluxul luminos scăzînd sub valoarea minimă admisibilă. Este indicat ca această operație să se execute cu regularitate, chiar dacă unele lămpi defectate ies din funcțiune mai înainte, atîta timp cît acestea nu influențează sensibil nivelul de iluminat ;

— verificarea periodică, prin măsurări, a nivelului de iluminare, controlîndu-se astfel și eficacitatea lucrărilor de întreținere ;

— exploatarea corectă a instalațiilor, în sensul respectării tensiunii nominale și a frecvenței și prin înlăturarea la timp a defectelor intervenite în instalațiile de comandă a aprinderii și stingerii, la balasturi, startere și la corpurile de iluminat etc.

Capitolul 9

# PRINCIPII DE CALCUL MECANIC AL LINIILOR ELECTRICE

## A. STUDIUL LĂNȚIȘORULUI

### 1. Caracteristici geometrice

Un conductor electric al unei linii aeriene poate fi considerat un fir greu și inextensibil, suspendat între două puncte. Curba descrisă de fir, respectiv de conductor, se numește lănțișor.

Se definesc trei distanțe caracteristice ale lănțișorului: deschiderea, denivelarea și săgeata (fig. 9.1).

*Deschiderea a* este distanța măsurată pe orizontală, între cele două puncte de suspensie ale conductorului.

*Denivelarea d* este distanța măsurată pe verticală, între cele două puncte de suspensie ale conductorului.

*Săgeata f* este distanța măsurată pe verticală, între dreapta care unește punctele de suspensie și tangenta la axa conductorului, paralelă cu dreapta menționată. În cazul în care punctele de suspensie sînt situate la același nivel (fig. 9.2) săgeata conductorului este distanța măsurată pe verticală, dintre dreapta orizontală care unește punctele de suspensie $S_1S_2$ și tangenta orizontală $T$ la axa conductorului. În cazul în care se consideră conductorul suspendat în două puncte situate la nivel inferior (punctele $M$ și $M'$), atunci săgeata este $f_M$.

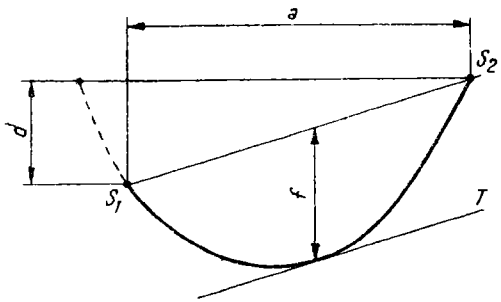



Fig. 9.1. Lănțișor cu punctele de suspensie denivelate.

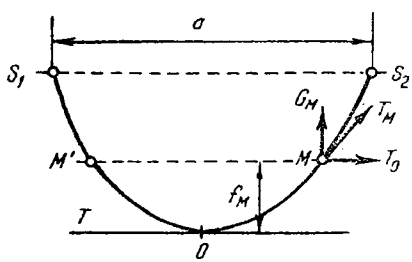



Fig. 9.2. Lănțișor cu punctele de suspensie la același nivel.

Din studiul curbei lănțișorului rezultă că, pentru liniile electrice aeriene aceasta poate fi înlocuită cu o parabolă, fără a se introduce erori prea mari. Pe baza acestei aproximații se stabilesc formule simple pentru calculul săgeții și lungimii conductorului în deschidere:

$$f \approx \frac{a^2 g}{8\sigma_O}; \qquad l \approx a + \frac{a^3 g^2}{24\sigma_O^2}, \tag{9.1}$$

în care:

$a$ este deschiderea conductorului, în m;
$g$ — greutatea specifică a conductorului, în kgf/mm³ sau N/m³;
$\sigma_O$ — efortul unitar în punctul $O$, în kgf/mm² sau N/m².

## 2. Caracteristici mecanice

Forțele care acționează asupra conductorului, într-un punct oarecare $M$ al lănțișorului, sînt indicate în figura 9.2. Forța orizontală $T_O$ rămîne constantă în orice punct al lănțișorului, iar forța verticală este egală cu greutatea $G_M$ a conductorului situat între punctele $M$ și $O$. Prin compunerea celor două forțe $T_O$ și $G_M$, se obține forța de tracțiune $T_M$, în lungul conductorului.

Din studiul ecuației lănțișorului se poate obține o relație simplă pentru determinarea forței $T_M$, și anume:

$$T_M = T_O + G_{fM}, \tag{9.2}$$

în care:

$T_O$ este forța de tracțiune în punctul $O$;
$G_{fM}$ — greutatea conductorului de lungime $f_M$, adică $G_{fM} = gsf_M$;
$s$ — secțiunea conductorului.

Împărțindu-se relația (9.2) cu secțiunea conductorului se obține efortul unitar $\sigma_M$ în punctul $M$:

$$\sigma_M = \sigma_O + gf_M, \tag{9.3}$$

în care:

$\sigma_O$ este efortul unitar în punctul $O$;
$f_M$ — săgeata conductorului, în ipoteza că ar fi suspendat în două puncte, $M$ și $M'$.

Dacă $\sigma_O$ este constant atunci efortul $\sigma_M$ este maxim în punctul de suspensie al conductorului, în care $f_M$ este maxim.

## 3. Ecuația de stare a conductorului

Efortul unitar $\sigma_O$ care intervine în relația (9.3) depinde de temperatura $\theta$ și de sarcina specifică a conductorului. Se poate stabili o relație între mărimile de stare $\theta$, $g$ și $\sigma_O$ din două stări arbitrare marcate cu indicii $n$ și $m$:

$$\sigma_n - \frac{a^2 g_n^2}{24\,\beta\sigma_n^2} = \sigma_m - \frac{a^2 g_m^2}{24\,\beta\sigma_m^2} - \frac{\alpha}{\beta}(\theta_n - \theta_m), \tag{9.4}$$

unde :

$\alpha$ este coeficientul de dilatare termică a conductorului (tabelul 9.1),
$\beta$ — coeficientul de alungire elastică a conductorului, adică $\beta = 1/E$, unde $E$ este modulul de elasticitate (tabelul 9.1).

Ecuaţia de stare (9.4) permite determinarea uneia dintre mărimile $\sigma_m$ sau $\sigma_n$ în funcţie de celelalte mărimi cunoscute. Ecuaţia pentru determinarea lui $\sigma_n$, de exemplu, capătă forma :

$$\sigma_n = \frac{B}{\sigma_n^2} = A, \tag{9.5}$$

în care $A$ şi $B$ sînt mărimi calculate în funcţie de parametrii cunoscuţi din relaţia (9.4).

Ecuaţia (9.5) este de gradul trei şi se rezolvă prin încercări. Cu ajutorul ei se determină valorile lui $\sigma_n$ pentru diferite stări $\theta_n$, $g_n$, care ar putea interveni în exploatare. Cunoscîndu-se valorile lui $\sigma_n$, se determină apoi săgeţile corespunzătoare diferitelor stări $\theta_n$, $g_n$, $\sigma_n$ :

$$f_n = \frac{a^2 g_n}{8\ \sigma_n}. \tag{9.6}$$

Relaţia (9.6) conduce la utilizarea unei metode simple, pentru montajul conductoarelor unei linii aeriene. Într-adevăr, relaţia (9.6) arată că în loc de a se determina efortul unitar $\sigma_n$ la montarea conductoarelor, este sufi-

*Tabelul 9.1*

**Caracteristicile materialelor conductoare**

| Materialul conductorului | Rezistivitatea la +20°C $\rho$ $\Omega\ mm^2/m$ | Conductivitatea la +20°C $m/\Omega\ mm^2$ | Coficientul de temperatură al rezistenţei grd$^{-1}$ | Greutatea specifică $\gamma$ kgf/cm$^3$ | Coeficientul de dilatare termică $\alpha$ | Modul de elasticitate, $E$ kgf/mm$^2$ | Rezistenţa la rupere kgf/mm$^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cupru tras la rece | 0,01786 | 56 | 0,00393 | $8{,}9 \cdot 10^{-3}$ | $17 \cdot 10^{-6}$ | $1{,}3 \cdot 10^4$ | 40 |
| Aluminiu Ø2,5 tras la rece | 0,0294 | 34 | 0,004 | $2{,}7 \cdot 10^{-3}$ | $23 \cdot 10^{-6}$ | $0{,}56 \cdot 10^4$ | $\frac{17}{16}$ |
| Oţel A | — | — | — | — | $12{,}3 \cdot 10^{-6}$ | $1{,}91 \cdot 10^4$ | 40 |
| Oţel B | — | — | — | — | — | $1{,}96 \cdot 10^4$ | 70 |
| Oţel C | — | — | 0,0052 | $7{,}8 \cdot 10^{-3}$ | $11 \cdot 10^{-6}$ | — | 120 |
| *Oţel aluminiu* 1 : 6 | 0,0294 | 34 | 0,04 | $3{,}45 \cdot 10^{-3}$ | $19{,}5 \cdot 10^{-6}$ | $0{,}75 \cdot 10^4$ | 20 |
| *Oţel aluminiu* 1 : 4 | 0,0294 | 34 | 0,04 | $3{,}72 \cdot 10^3$ | $20 \cdot 10^{-6}$ | $0{,}85 \cdot 10^4$ | 24 |
| Oţel D | — | — | — | — | — | $2{,}10 \cdot 10^4$ | 150 |

cient să se măsoare săgeata $f_n$, ceea ce este mult mai comod. Ţinîndu-se seamă de temperatura la care se face montajul conductoarelor, se pot determina pentru diferite deschideri mărimile $\sigma_n$, respectiv $f_n$, care trebuie realizate la montaj.

## B. FORŢELE CARE ACŢIONEAZĂ ASUPRA CONDUCTOARELOR

### 1. Forţe ocazionale

Forţele care acţionează asupra unui conductor (activ sau de protecţie) al unei linii electrice aeriene sînt determinate pe de o parte de greutatea proprie şi pe de altă parte de forţele ocazionale cum sînt presiunea vîntului şi greutatea chiciurii.

Forţele ocazionale care acţionează asupra conductoarelor depind de condiţiile meteorologice ale zonei prin care trece linia. Aceste forţe se calculează conform cu „Normativul pentru construcţia liniilor aeriene de energie electrică cu tensiunea peste 1 000 V".

Sarcinile ocazionale se calculează ţinîndu-se seamă de împărţirea în două zone meteorologice, conform hărţii din figura 9.3.

Pentru ambele zone se consideră că temperaturile limită sînt $\theta_{min} = -30°C$ şi $\theta_{max} = +40°C$. Pentru ambele zone, chiciura se formează la $-5°C$ şi are greutatea specifică:

$$\gamma_{ch} = 0{,}9 \text{ kgf/dm}^3 = 0{,}9 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3 = 8{,}8 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3.$$

Viteza vîntului şi grosimea chiciurii se iau din tabelele 9.2 şi 9.3.

*Tabelul 9.2*

**Viteza vîntului, în m/s**

| Zona meteorologică | $U_n \leqslant 110$ kV | | $U_n = 220 \ldots 400$ kV | |
|---|---|---|---|---|
| | Vînt maxim | Vînt simultan cu chiciură | Vînt maxim | Vînt simultan cu chiciură |
| I *a* | 35 | 20 | 40 | 20 |
| I *b* | 30 | 15 | 35 | 17 |
| II | 27 | 13 | 35 | 17 |
| peste 1 000 m altitudine | 40 | 20 | 44 | 22 |

*Tabelul 9.3*

**Grosimea chiciurii, în mm**

| Zona meteorologică | Grosimea stratului de chiciură | |
|---|---|---|
| | $U_n \leqslant 120$ kV | $U_n = 220 \ldots 400$ kV |
| I *a* | 23 | 25 |
| I *b* | 17 | 23 |
| II | 13 | 20 |
| peste 1 000 m altitudine | 25 | 50 |

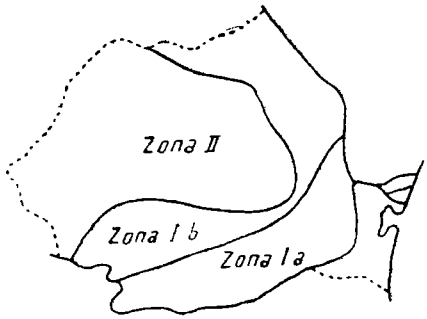



Fig. 9.3. Harta R. S. România cu delimitarea zonelor meteorologice.

## 2. Sarcini specifice

În funcție de forțele care acționează asupra conductoarelor se calculează forțele specifice sau sarcinile specifice, care sînt raportate la unitatea de lungime și la unitatea de secțiune transversală a conductoarelor. Aceste sarcini specifice se determină după cum urmează:

*Sarcina specifică datorită greutății proprii a conductorului* $g_c$ se determină cu relația:

$$g_c = a\gamma_c \text{ [kgf/m·mm}^2 \text{ sau N/m}^3\text{]}, \quad (9.7)$$

în care:

$a$ este un coeficient care ține seamă de faptul că lungimea sîrmelor răsucite într-un conductor multifilar este mai mare cu 2—3% decît lungimea conductorului multifilar, $a = 1{,}02 \ldots 1{,}03$;

$\gamma_c$ — greutatea specifică a materialului conductorului, în kgf/cm$^3$ = = kgf/m·mm$^2$ sau N/m$^3$.

Pentru conductoarele bimetalice de oțel-aluminiu, sarcina specifică este dată de relația:

$$g_c = \frac{\gamma_{OL}s_{OL} + \gamma_{AI}s_{AI}}{s_{OL} + s_{AI}} a \text{ [kgf/m·mm}^2 \text{ sau N/m}^3\text{]}. \quad (9.8)$$

*Sarcina specifică datorită greutății chiciurii* $g_{ch}$ se determină considerîndu-se că chiciura acoperă complet conductorul, formînd un strat cilindric de grosime $b$, și anume:

$$g_{ch} = \frac{\left[\frac{\pi(d+2b)^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}\right]}{s} \gamma_{ch} \text{ [kgf/m·mm}^2 \text{ sau N/m}^3\text{]}. \quad (9.9)$$

În această relație $\gamma_{ch}$ reprezintă greutatea specifică a chiciurii, exprimată în kgf/cm$^3$ sau N/m$^3$, $s$ este secțiunea conductorului, în mm$^2$, iar paranteza mare de la numărător reprezintă volumul chiciurii pe unitatea de lungime a conductorului. Volumul chiciurii este diferența dintre volumul unui cilindru de lungime unitară, cu diametrul $d + 2b$ și volumul unui cilindru de aceeași lungime dar cu diametrul $d$ (al conductorului).

Efectuîndu-se operațiile de la numărător, relația (9.9) devine:

$$g_{ch} = \frac{\pi b(d+b)}{s} \gamma_{ch} = \frac{3{,}14b(d+b)}{s} 0{,}9 \cdot 10^{-3} = 0{,}00283 \frac{b(d+b)}{s}. \quad (9.10)$$

*Sarcina specifică datorită presiunii vîntului pe conductoare* $g_v$ se determină cu relaţia :

$$g_v = p_0 \cdot \frac{d}{s} = nk \frac{v^2 d}{16\, s} 10^{-3} \text{ [kgf/m·mm}^2 \text{ sau N/m}^3\text{]}, \tag{9.11}$$

în care :

$d$ este diametrul conductorului, în mm ;
$s$ — secţiunea conductorului, în mm² ;
$p_0$ — presiunea vîntului pe unitatea de suprafaţă, în kgf/m² sau N/m² ;
$n$ — coeficient care ţine seamă de neuniformitatea vitezei vîntului şi poate fi luat $n = 0{,}85$ ;
$k$ — coeficient aerodinamic, care depinde de forma suprafeţei bătute de vînt şi care are valoarea $k = 1{,}2$ pentru conductoare cilindrice ;
$v$ — viteza vîntului, în m/s.

Înlocuindu-se valorile numerice ale coeficienţilor $n$ şi $k$, se obţine din relaţia (9.11) :

$$g_v = 1{,}02 \frac{v^2}{16} \frac{d}{s} 10^{-3} \text{ [kgf/m·mm}^2 \text{ sau N/m}^3\text{]}. \tag{9.12}$$

Atunci cînd conductoarele sînt acoperite cu chiciură, sarcina specifică datorată presiunii vîntului se calculează cu formula :

$$g_{v.\,ch} = 1{,}02 \frac{v^2(d + 2b)}{16\, s} 10^{-3} \text{ [kgf/m·mm}^2 \text{ sau N/m}^3\text{]}. \tag{9.13}$$

*Sarcina specifică totală* care acţionează asupra conductoarelor este egală cu rezultanta sarcinilor verticale (greutate proprie şi chiciură) şi orizontale (presiunea vîntului) :

$$g_{vert} = g_c + g_{ch} ;$$
$$g_{oriz} = g_{v\cdot ch} ; \tag{9.14}$$

$$g_t = \sqrt{g_{vert}^2 + g_{oriz}^2} = \sqrt{(g_c + g_{ch})^2 + g_{v.ch}^2}. \tag{9.15}$$

În cazul în care conductorul nu este acoperit cu chiciură, sarcina specifică totală este :

$$g_t = \sqrt{g_c^2 + g_v^2}. \tag{9.16}$$

*Exemplul 9.1.* Să se calculeze sarcinile specifice pentru conductoarele de Cu-50 şi Ol.-Al-185 cu care sînt echipate două linii aeriene situate în regiunea *I* meteorologică :

Din tabele s-au scos următoarele date :

— pentru conductoarele de Cu-50 :

$$\gamma = 8{,}9 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3 :$$

$$d = 9 \text{ mm}.$$

— Pentru conductcarele de Ol.-Al-185 :

$\gamma_{Al} = 2{,}7 \cdot 10^{-3}$ kgf/cm³ ; $\gamma_{OL} = 7{,}8 \cdot 10^{-3}$ kgf/cm³ ;
$s_{Al} = 183{,}8$ mm² ; $s_{OL} = 31{,}8$ mm² ;
$s_{tot\,Al} = 215{,}5$ mm² ; $s_{tot\,OL} = 19{,}2$ mm².

*Rezolvare*

— Sarcina specifică datorită greutății proprii:

pentru Cu-50:

$$g_1 = a\gamma = 1{,}025 \cdot 8{,}9 \cdot 10^{-3} = 9{,}1 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3 \approx 89{,}2 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3;$$

pentru OL-Al-185:

$$g_1 = \frac{\gamma_{OL} s_{OL} + \gamma_{Al} s_{Al}}{s_{tot\,Al}} a = \frac{7{,}8 \cdot 31{,}7 + 2{,}7 \cdot 183{,}8}{215{,}5} 1{,}025 \cdot 10^{-3} =$$

$$= 3{,}63 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3 \approx 35{,}6 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3.$$

— Sarcina specifică datorită chiciurii de grosime $b = 17$ mm:

pentru Cu-50:

$$g_2 = 0{,}00283 \frac{17(9 + 17)}{50} = 25{,}1 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3 \approx 246 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3;$$

pentru OL-Al-185:

$$g_2 = 0{,}00283 \frac{17(19{,}2 + 17)}{215{,}5} = 8{,}10 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3 \approx 79{,}5 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3.$$

— Sarcina specifică datorită presiunii vîntului ($v = 25$ m/s):

$$g_3 = 1{,}02 \frac{v^2}{16} \cdot \frac{d}{s} \cdot 10^{-3};$$

pentru Cu-50:

$$g_3 = 1{,}02 \frac{25^2}{16} \cdot \frac{9}{50} \cdot 10^{-3} = 7{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3 \approx 70{,}6 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3;$$

pentru OL-Al-185:

$$g_3 = 1{,}02 \frac{25^2}{16} \cdot \frac{19{,}2}{215{,}5} \cdot 10^3 = 3{,}56 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3 \approx 34{,}9 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3.$$

— Sarcina specifică datorită presiunii vîntului cînd conductoarele sînt acoperite cu chiciură ($v = 15$ m/s):

$$g_4 = 1{,}02 \cdot \frac{v^2}{16} \cdot \frac{d + 2b}{s} \cdot 10^{-3};$$

pentru Cu-50:

$$g_4 = 1{,}02 \cdot \frac{15^2}{16} \cdot \frac{43}{50} \cdot 10^{-3} = 12{,}3 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^2 \approx 120{,}5 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3;$$

pentru OL-Al-185:

$$g_4 = 1{,}02 \cdot \frac{15^2}{16} \cdot \frac{53{,}2}{215{,}5} \cdot 10^{-3} = 3{,}55 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3 \approx 34{,}8 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3.$$

— Sarcina specifică provenită din greutatea chiciurii:

$$g_5 = g_1 + g_2;$$

pentru Cu-50:

$$g_5 = (9{,}1 + 25{,}1) \cdot 10^{-3} = 34{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3 \approx 337 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3;$$

pentru OL-Al-185:

$$g_5 = (3{,}63 + 8{,}10) \cdot 10^{-3} = 11{,}73 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3 \approx 115 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3.$$

Sarcina specifică totală provenită din sarcinile verticale și sarcinile orizontale (conductoare neacoperite cu chiciură și viteza vîntului $v = 25$ m/s):

$$g_6 = \sqrt{g_1^2 + g_3^2},$$

pentru Cu-50:

$$g_6 = \sqrt{(9{,}1 \cdot 10^{-3})^2 + (7{,}2 \cdot 10^{-3})^2} = 11{,}6 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3 \approx 113{,}6 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3;$$

pentru OL-Al-185:

$$g_6 = \sqrt{(3{,}63 \cdot 10^{-3})^2 + (3{,}56 \cdot 10^{-3})^2} = 5{,}09 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3 \approx 49{,}9 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3.$$

— Sarcina specifică totală provenită din sarcinile verticale și orizontale (conductoare cu chiciură și viteza vîntului $v = 15$ m/s):

$$g_7 = \sqrt{g_5^2 + g_4^2};$$

pentru Cu-50:

$$g_7 = \sqrt{(34{,}2^2 + 12{,}3^2) \cdot (10^{-3})^2} = 36{,}3 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3 \approx 358 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3;$$

pentru OL-Al-185:

$$g_7 = \sqrt{(11{,}73^2 + 3{,}55^2)\,(10^{-3})^2} = 12{,}25 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3 \approx 120 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3.$$

## C. CALCULUL MECANIC AL CONDUCTOARELOR

### 1. Coeficienți de siguranță

Prescripțiile prevăd ca la proiectarea liniilor să se realizeze anumiți coeficienți de siguranță care se exprimă prin raportul dintre forța de rupere a conductorului și forța de tracțiune maximă de calcul.

Pentru *liniile care trec prin regiuni nelocuite*, peste rîuri care îngheață, peste rîuri sau canale navigabile, peste căi ferate, funiculare provizorii etc., conductoarele active și de protecție se montează cu tracțiune normală, corespunzătoare următorilor coeficienți de siguranță:

— pentru conductoare-funie 2—2,1;
— pentru conductoare masive 2,5.

Pentru *liniile care trec prin regiuni locuite*, care intersectează autostrăzi, linii de telecomunicații și alte linii aeriene de transport de energie electrică, *conductoarele active și de protecție se montează cu tracțiune redusă*, corespunzătoare următorilor coeficienți de siguranță:

— pentru conductoare-funie 3;
— pentru conductoare masive 3,5.

Rezistențele de rupere împărțite la coeficienții de siguranță menționați conduc la determinarea rezistențelor admisibile, cu care se calculează conductoarele.

Prescripțiile mai prevăd ca la construcția liniilor aeriene să nu se utilizeze conductoare cu secțiuni mai mici decît 6 mm² pentru cupru și 16 mm² pentru aluminiu.

## 2. Deschiderea critică

Examinîndu-se ecuația de stare a conductorului (9.4), se constată că efortul unitar poate căpăta valori maxime în două situații, și anume :

— atunci cînd sarcina specifică este maximă $g_{max}$ (conductorul este acoperit cu chiciură), care se realizează la temperatura $\theta_{ch} = -5°C$ ;

— atunci cînd temperatura este minimă $\theta_{min}$ (sub zero grade), iar sarcina specifică este $g_p$, datorită numai greutății proprii a conductorului.

În prima situație, efortul unitar este maxim datorită sarcinilor suplimentare, iar în a doua situație, efortul unitar este maxim datorită contracției conductorului în urma scăderii temperaturii ($\theta_{min} = -30°C$).

Pentru dimensionarea conductorului este necesar să se știe, care dintre cele două situații de maxim se realizează în cazul unei linii date. Determinarea situației celei mai grele pentru conductor se face folosindu-se o mărime auxiliară de calcul, numită deschidere critică.

*Deschiderea critică* se definește ca fiind deschiderea pentru care efortul unitar maxim în conductor este același, atît la încărcarea cu sarcină maximă $g_{max}$ la temperatura $\theta_{ch}$, cît și la temperatura minimă $\theta_{min}$ cu încărcarea $g_p$.

Conform acestei definiții, deschiderea critică $a_{cr}$ rezultă din ecuația de stare (9.4), în care se introduc condițiile :

$$\sigma_m = \sigma_n = \sigma_{max} \; ; \; g_n = g_p \; ; \; g_m = g_{max} \; ; \; \theta_n = \theta_{min} \; ; \; \theta_m = \theta_{ch}.$$

Făcîndu-se înlocuirile, rezultă :

$$\sigma_{max} - \frac{a_{cr}^2 g_p^2}{24\,\beta\sigma_{max}^2} = \sigma_{max} - \frac{a_{cr}^2 g_{max}^2}{24\,\beta\sigma_{max}^2} - \frac{\alpha}{\beta}(\theta_{min} - \theta_{ch}).$$

Rezolvîndu-se în raport cu $a_{cr}$, se obține :

$$a_{cr} = \sigma_{max} \sqrt{\frac{24\,\alpha(\theta_{ch} - \theta_{min})}{g_{max}^2 - g_p^2}}. \qquad (9.17)$$

Comparîndu-se deschiderea critică cu deschiderea reală a liniei se poate stabili care este situația în care vor apărea solicitările maxime în conductor. Dacă deschiderea reală este mai mare decît deschiderea critică, atunci solicitările maxime apar la încărcarea maximă $g_{max}$, iar dacă deschiderea reală este mai mică decît deschiderea critică, atunci solicitările maxime apar la temperatura minimă $\theta_{min}$.

## 3. Temperatura critică

Una dintre mărimile care determină înălțimea stîlpilor la liniile aeriene este săgeata conductorului. Săgeata conductorului poate căpăta valori maxime în două situații și anume :

— atunci cînd conductorul este întins sub acțiunea sarcinii maxime $g_{max}$ ;

— atunci cînd conductorul este dilatat sub acțiunea temperaturii maxime $\theta_{max}(+40°C)$.

Săgeţile conductorului în cele două situaţii pot fi exprimate prin relaţiile :

$$f_{\theta_{max}} = \frac{a^2 g_p}{8 \sigma_1};$$
$$f_{g_{max}} = \frac{a^2 g_{max}}{8 \sigma_2}, \tag{9.18}$$

în care :

$\sigma_1$ este efortul unitar în cazul temperaturii maxime ;

$\sigma_2$ — efortul unitar în cazul sarcinilor maxime.

Fără a se efectua calculele din relaţia (9.4), se poate stabili care dintre săgeţile considerate este mai mare. În acest scop se foloseşte o mărime auxiliară de calcul, numită temperatură critică.

*Temperatura critică* se defineşte ca fiind temperatura pentru care conductorul aflat sub acţiunea greutăţii proprii are o săgeată egală cu cea a conductorului aflat sub acţiunea sarcinilor maxime. Conform acestei definiţii, din relaţiile (9.18) rezultă :

$$\frac{a^2 g_{max}}{8 \sigma_2} = \frac{a^2 g_p}{8 \sigma_1}, \tag{9.19}$$

sau :

$$\sigma_1 = \sigma_2 \frac{g_p}{g_{max}}.$$

Mărimile $\sigma_1$ şi $\sigma_2$ sînt legate între ele prin ecuaţia de stare a conductorului, scrisă pentru condiţiile :

$$\sigma_n = \sigma_1 ; \; g_n = g_p ; \; \theta_n = \theta_{cr} ; \; \sigma_m = \sigma_2 ; \; g_m = g_{max} ; \; \theta_m = \theta_{ch},$$

adică :

$$\sigma_1 - \frac{a^2 g_p^2}{24 \beta \sigma_1^2} = \sigma_2 - \frac{a^2 g_{max}^2}{24 \beta \sigma_2^2} - \frac{\alpha}{\beta}(\theta_{cr} - \theta_{ch}).$$

Substituindu-se expresia lui $\sigma_1$ dată de relaţia (9.19) se obţine :

$$\sigma_2 \frac{g_p}{g_{max}} - \frac{a^2 g_p^2}{24 \beta \sigma_2^2} \cdot \frac{g_{max}^2}{g_p^2} = \sigma_2 - \frac{a^2 g_{max}^2}{24 \beta \sigma_2^2} - \frac{\alpha}{\beta}(\theta_{cr} - \theta_{ch})$$

şi rezolvîndu-se apoi în raport cu $\theta_{cr}$, se obţine :

$$\theta_{cr} = \theta_{ch} + \sigma_2 \frac{\alpha}{\beta}\left(1 - \frac{g_p}{g_{max}}\right). \tag{9.20}$$

Dacă temperatura maximă a mediului ambiant ($\theta_{max} = +40°C$) este mai mare decît temperatura critică, atunci săgeata maximă se realizează în cazul temperaturii maxime. Dacă temperatura maximă a mediului ambiant este mai mică decît temperatura critică, atunci săgeata maximă se realizează în cazul sarcinilor specifice maxime.

*Exemplul 9.2.* O linie electrică aeriană cu tensiunea de 35 kV se execută pe stîlpi portali de lemn cu deschiderea de 150 m și cu conductoare de Cu-50. Înălțimea punctelor de fixare a conductoarelor într-o deschidere este aceeași. Linia trece printr-o regiune nelocuită și corespunde condițiilor meteorologice din zona *I*, pentru care normele prevăd:

$$\theta_{max} = +40°C\,;\ \theta_{min} = -30°C\,;$$

viteza maximă a vîntului $v = 25$ m/s;
viteza vîntului cînd conductoarele sînt acoperite cu chiciură $v = 15$ m/s;
grosimea chiciurii $b = 17$ mm;
greutatea specifică a chiciurii $g_0 = 0{,}9$ kgf/dm$^3 \approx 8{,}8 \cdot 10^3$ N/m$^3$.
Se cere să se întocmească tabelul de montaj cu săgețile conductoarelor.

*Rezolvare*

Sarcinile specifice pentru acest conductor s-au calculat în aplicația 9.1. Din tabele se scoate pentru conductorul de cupru $\sigma_r = 39$ kgf/mm$^2$. Luîndu-se coeficientul de siguranță pentru regiuni nelocuite și conductoare-funie $k = 2$, se obține efortul unitar admisibil la tracțiune:

$$\sigma_a = \sigma_{max} = \frac{\sigma_r}{k} = \frac{39}{2} = 19{,}5 \text{ kgf/mm}^2 \approx 191 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2.$$

Pentru a se scoate în evidență în care dintre cele două cazuri posibile (sarcina suplimentară provenită din cauza chiciurii și a vîntului la $-5°C$ sau cazul celei mai scăzute temperaturi $\theta_{min} = -30°C$) solicitarea va fi mai mare, se determină deschiderea critică $a_{cr}$:

$$a_{cr} = \sigma_{max} \sqrt{\frac{24\ \alpha(\theta_{ch} - \theta_{min})}{g_{max}^2 - g_{min}^2}} = 19{,}5 \sqrt{\frac{24 \cdot 17 \cdot 10^{-6}\ (-5 + 30)}{(36{,}3^2 - 9{,}1^2) \cdot 10^{-6}}} =$$

$$= 19{,}5 \sqrt{8{,}26} = 56{,}5 \text{ m}.$$

Deoarece $a = 150$ m, cea mai mare solicitare a materialului din conductor (adică $\sigma_{max} = 19{,}5$ kgf/mm$^2$) va fi la $-5°C$, cu chiciură și vînt. În toate celelalte condiții, solicitarea asupra conductorului va fi mai mică decît 19,5 kgf/mm$^2 \approx 191 \cdot 10^6$ N/m$^2$.

Se determină săgeata maximă a conductorului, care poate corespunde fie stării $g_5$ la $-5°C$, fie stării $g_1$ la $+40°C$.

Săgeata conductorului în primul caz se determină cu relația:

$$f = \frac{a^2 g_5}{8\ \sigma_5}$$

în care:

$g_5$ este sarcina provenită din greutatea proprie și chiciură;

$$g_5 = 34{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3 \approx 337 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3\,;$$

$\sigma_5$ — solicitatea materialului produsă sub acțiunea sarcinii $g_5$, aflată din ecuația de stare a conductorului:

$$\sigma_5 - \frac{a^2 \cdot g_5^2}{23\ \beta\sigma_5^2} = \sigma_{max} - \frac{a^2 \cdot g_{max}^2}{24\ \beta\sigma_{max}^2} - \frac{\alpha}{\beta}(\theta_5 - \theta_{ch}).$$

Introducîndu-se în această ecuație valorile următoare: $a = 150$ m:

$$g_5 = 34{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^2\,;\ \theta_5 = -5°C\,;\ g_{max} = 36{,}3 \cdot 10^{-3} \text{ kgf/cm}^3\,;$$

$$\theta_{ch} = -5°C\,;\ \beta = 77 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{kgf}\,;\ \alpha = 17 \cdot 10^{-6}$$

se obține:

$$\sigma_5 - \frac{150^2 (34{,}2 \cdot 10^{-3})^2}{24 \cdot 77 \cdot 10^{-6}\ \sigma_5^2} = 10{,}9 - \frac{150^2 (36{,}3 \cdot 10^3)^2}{24 \cdot 77 \cdot 10^{-6} \cdot 19{,}5^2} - \frac{17 \cdot 10^{-6}}{77 \cdot 10^{-6}} [-5 - (-5)]$$

sau

$$\sigma_5^3 + 22{,}8\ \sigma_5^2 = 14\,250.$$

Soluția ecuației este:

$$\sigma_5 = 18{,}6\ \text{kgf/mm}^2 \approx 182{,}5 \cdot 10^6\ \text{N/m}^2,$$

deci:

$$f_5 = \frac{150^2 \cdot 34{,}2 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 18{,}6} = 5{,}20\ \text{m}.$$

Săgeata conductorului în al doilea caz se determină în mod analog. Ecuația de stare va fi în acest caz:

$$\sigma_1 - \frac{a^2 g_1^2}{24\ \beta\sigma_1^2} = \sigma_{max} - \frac{a^2 g_7^2}{24\ \beta\sigma_{max}^2} - \frac{\alpha}{\beta}(\theta_1 - \theta_{ch})$$

sau:

$$\sigma_1 - \frac{150^2 (9{,}1 \cdot 10^{-3})^2}{24 \cdot 77 \cdot 10^{-6}\ \sigma_1^2} = 19{,}5 - \frac{150^2 (36{,}6 \cdot 10^{-3})^2}{24 \cdot 77 \cdot 10^{-6} \cdot 19{,}5^2} - \frac{17 \cdot 10^{-6}}{77 \cdot 10^{-6}}[40 - (-5)]$$

sau:

$$\sigma_1^3 + 32{,}7\ \sigma_1^2 = 1\,020.$$

Rezultă:

$$\sigma_1 \approx 5{,}15\ \text{kgf/mm}^2 \approx 50{,}5 \cdot 10^6\ \text{N/m}^2;$$

$$f_1 = \frac{a^2 \cdot g_1}{8\ \sigma_1} = \frac{150^2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 5{,}15} = 4{,}95\ \text{m}.$$

Comparîndu-se cele două valori $f_5$ și $f_1$, se observă că săgeata conductorului este mai mare la $-5$°C cu chiciură și vînt, decît la temperatura maximă. Această situație se poate verifica determinîndu-se temperatura critică:

$$\theta_{cr} = \theta_3 + \sigma_5 \frac{\beta}{\alpha}\left(1 - \frac{g_1}{g_0}\right) = -5 + 18{,}6\,\frac{77 \cdot 10^{-6}}{17 \cdot 10^{-6}}\left(1 - \frac{9{,}1 \cdot 10^{-3}}{34{,}2 \cdot 10^{-2}}\right) =$$

$$= -5 + 61 = 56°\text{C}.$$

Deoarece cea mai înaltă temperatură $\theta = 40$°C este mai mică decît $\theta_{cr} = 56$°C, săgeata maximă a conductorului se va produce la $\theta = -5$°C, cu chiciură și vînt.

— Solicitările și săgețile conductorului pentru orice alte condiții se determină în mod analog. Rezultatele calculelor pentru aceste situații specifice sînt date în tabelul rezumativ 9.4.

— Solicitarea $\sigma$ la diverse temperaturi ale mediului, ținîndu-se seamă numai de sarcina datorită greutății proprii, se determină cu ajutorul ecuației de stare:

$$\sigma - \frac{a^2 g_1^2}{24\ \beta\sigma^2} = \sigma_{max} - \frac{a^2 g_7^2}{24\ \beta\sigma_{max}^2} - \frac{\alpha}{\beta}(\theta - \theta_{ch});$$

$$\sigma - \frac{1\,020}{\sigma_2} = -22{,}8 - 0{,}221(\theta - 5);$$

$$\sigma^2[\sigma + 22{,}8 + 0{,}221(\theta + 5)] = 1\,020,$$

sau:

$$\sigma^2(\sigma + C) = 1\,020.$$

unde $C = 22{,}8 + 0{,}221(\theta + 5)$.

Forța de întindere a conductoarelor se determină cu relația :

$$T = \sigma_x = 50\ \sigma,$$

iar săgeata cu relația :

$$f = \frac{a^2 g_1}{8\ \sigma} = \frac{150^2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-3}}{8\ \sigma} = \frac{25{,}6}{\sigma}\ .$$

Se fac calculele și se obțin rezultatele trecute în tabelul 9.5 de montaj.

*Tabelul 9.4*

**Tabel cu rezultatele calculelor de la exemplul 9.2**

| $\theta$°C | Regimul de funcționare a conductorului | $g$ | kgf/mm² | $T$ kgf | $f$ m |
|---|---|---|---|---|---|
| −30 | Temperatura minimă | $g_1$ | 6,55 | 1 160 | 3,92 |
| − 5 | Sarcina maximă verticală | $g_5$ | 18,6 | 3 300 | 5,20 |
| − 5 | Sarcina maximă suplimentară | $g_7$ | 19,5 | 3 440 | 5,22 |
| − 5 | Sarcina maximă a vîntului | $g_6$ | 7,2 | 1 275 | 4,52 |
| +40 | Temperatura maximă | $g_1$ | 5,15 | 885 | 4,95 |

*Tabelul 9.5*

**Tabel de montaj a=150 mm**

| $\theta$°C | kgf/mm² | $T$ kgf | $f$ m |
|---|---|---|---|
| −30 | 6,55 | 327 | 3,92 |
| −20 | 6,25 | 312 | 4,10 |
| −10 | 6,1 | 305 | 4,20 |
| − 0 | 5,9 | 295 | 4,34 |
| +10 | 5,7 | 285 | 4,48 |
| +20 | 5,5 | 275 | 4,65 |
| +30 | 5,3 | 265 | 4,83 |
| +40 | 5,15 | 257 | 4,95 |

Capitolul 10

# CALCULUL ELECTRIC AL REȚELELOR ELECTRICE

Calculul electric al rețelelor electrice se referă la două probleme distincte, și anume : determinarea regimurilor de funcționare și dimensionarea conductoarelor.

Trebuie remarcat că, în general, aceste două probleme sînt interdependente, în sensul că pentru dimensionarea conductoarelor este necesar să fie cunoscute regimurile de funcționare, iar pentru determinarea regimurilor de funcționare este necesar să fie cunoscuți parametrii electrici ai rețelei. Existînd această interdependență, dimensionarea conductoarelor nu poate fi făcută decît acceptîndu-se drept cunoscute anumite regimuri de funcționare. Ulterior, după dimensionarea conductoarelor și determinarea parametrilor electrici, se calculează exact regimul de funcționare și se verifică dimensionarea făcută.

*Determinarea regimurilor de funcționare* înseamnă calculul curenților, al tensiunilor și al puterilor, în diferite puncte ale rețelei și în diferite situații, normale sau anormale, permanente sau tranzitorii. Studiul acestor regimuri variate de funcționare cuprinde un cerc larg de probleme, care nu vor fi tratate în cadrul acestui manual. În cadrul capitolului de față se va insista numai asupra determinării repartiției curenților și a tensiunilor în regimuri normale.

*Dimensionarea conductoarelor* înseamnă, în primul rînd, determinarea secțiunii lor, iar uneori, în cazul rețelelor de înaltă tensiune, înseamnă și determinarea razei exterioare a conductoarelor. Cunoașterea acestor parametri geometrici permite determinarea ulterioară a parametrilor electrici (rezistența $R$, conductanța $G$, inductanța $L$, capacitatea $C$) care vor servi la calculul regimurilor de funcționare.

## A. PARAMETRII LINIILOR ELECTRICE

Pentru studiul regimurilor de funcționare a rețelelor electrice este necesar să se cunoască schemele echivalente și parametrii corespunzători ai diferitelor elemente componente. Ținîndu-se seamă de faptul că rețeaua trifazată este construită similar pe cele trei faze, calculul regimurilor simetrice se poate efectua numai pentru o singură fază, folosindu-se în acest scop schemele echivalente monofazate.

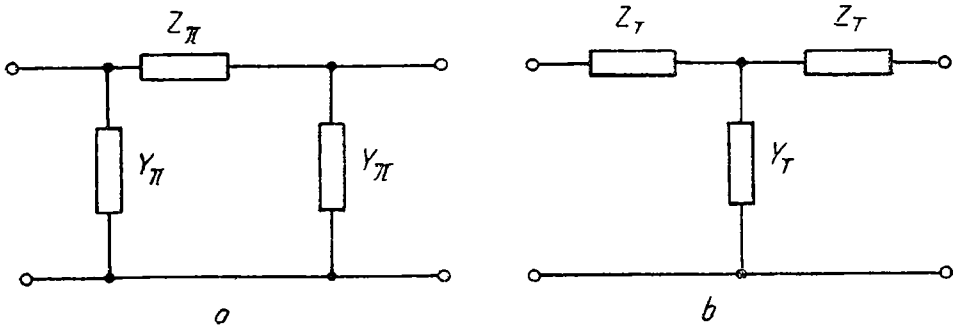



Fig. 10.1. Schema echivalentă a unei linii :
*a* – în Π ; *b* – în T.

Orice linie electrică aeriană sau în cablu, de joasă sau de înaltă tensiune, poate fi reprezentată printr-o schemă echivalentă π (fig. 10.1), în care :

$$Z_\pi = R_\pi + jX_\pi \text{ şi } Y_\pi = G_\pi + jB_\pi .$$

Parametrii care apar în schema echivalentă capătă o importanţă diferită, după caracterul liniei considerate. Astfel, pentru liniile de joasă tensiune, rolul preponderent îl are rezistenţa $R$, în timp ce ceilalţi parametri au valori neglijabile. Pentru liniile de înaltă tensiune pînă la 35 kV trebuie luată în consideraţie, în primul rînd, reactanţa $X$ şi apoi rezistenţa $R$, în timp ce susceptanţa $B$ şi conductanţa $G$ rămîn de cele mai multe ori neglijabile. Pentru liniile de înaltă tensiune de peste 35 kV trebuie luate în consideraţie, în primul rînd, rezistenţa şi susceptanţa şi apoi rezistenţa, în timp ce conductanţa este neglijabilă.

## 1. Rezistenţa

Rezistenţa unui conductor de secţiune constantă care funcţionează în curent continuu poate fi calculată cu formula :

$$R_c = \frac{\rho l}{s} = \frac{l}{\gamma} \ [\Omega], \tag{10.1}$$

în care :

$l$ este lungimea conductorului, în m ;
$s$ — secţiunea conductorului, în mm² ;
$\rho$ — rezistivitatea conductorului, în $\Omega \cdot mm^2/m$ ;
$\gamma$ — conductivitatea conductorului, în $m/\Omega \cdot mm^2$.

Rezistenţa definită cu relaţia (10.1) poartă numele de *rezistenţă ohmică* sau *rezistenţă în curent continuu* $R_c$. Sînt cazuri în care rezistenţa în curent alternativ poate să difere de rezistenţa în curent continuu şi de aceea, pentru a se face o distincţie, ea a căpătat numele de *rezistenţă activă* $R_a$. Rezistenţa activă sau rezistenţa în curent alternativ este întotdeauna puţin mai mare decît rezistenţa ohmică, datorită fenomenului cunoscut în electrotehnică sub denumirea de *efect de suprafaţă* sau *efect pelicular*. Creşterea rezistenţei active se manifestă destul de slab la frecvenţa de 50 Hz şi de aceea se poate considera cu o bună aproximaţie că rezistenţa activă este egală cu rezistenţa ohmică. Numai în cazul conductoarelor masive cu secţiuni relativ mari trebuie să se ţină seamă de efectul pelicular.

La calculul rezistenţelor liniilor electrice trebuie să se ţină seamă de influenţa răsucirii conductoarelor multifilare. Lungimea reală a conductorului monofilar dintr-un conductor funie cu firele răsucite este mai mare decît lungimea conductorului funie. Influenţa răsucirii se poate lua în consideraţie prin majorarea lungimii conductorului funie cu 2% pentru conductoarele de cupru şi 2—4% pentru conductoarele de aluminiu şi oţel-aluminiu.

La acelaşi rezultat se ajunge dacă în loc de a se majora lungimea se introduc în calcule valori mărite ale rezistivităţii cuprului şi a aluminiului, după cum urmează:

$$\rho_{Cu} = 18{,}8\,\Omega\cdot mm^2/km \quad \text{sau} \quad \gamma_{Cu} = 53\ m/\Omega\cdot mm^2;$$

$$\rho_{Al} = 31{,}2\,\Omega\cdot mm^2/km \quad \text{sau} \quad \gamma_{Al} = 32\ m/\Omega\cdot mm^2.$$

O problemă specială o prezintă conductoarele de oţel, deoarece rezistenţa lor electrică depinde de intensitatea curentului electric, respectiv de intensitatea cîmpului magnetic.

La calculul rezistenţelor liniilor electrice trebuie să se mai ţină seamă de faptul că rezistivitatea conductoarelor depinde de temperatura lor $\theta$, conform relaţiei:

$$\rho_\theta = \rho_{20}[1 + \alpha(\theta - 20)], \tag{10.2}$$

în care coeficientul de temperatură $\alpha$ poate căpăta valorile: 0,0039 pentru aluminiu; 0,0042 pentru cupru; 0,0062 pentru oţel etc.

*Exemplul 10.1.* Să se determine rezistenţa unui conductor de Cu-70, cu lungimea de 10 km, la temperatura de 60°C.

Aplicîndu-se relaţia (10.2) se determină:

$$R_{60} = \rho_{20}\cdot\frac{l}{s}(1 + \alpha\,40) = \frac{1}{53}\,\frac{10\,000}{70}(1 + 0{,}0042\cdot 40) = 29{,}5\ \Omega.$$

## 2. Conductanţa

Conductanţa $G$ este un parametru determinat, pe de o parte de pierderile în dielectric $P_d$ şi, pe de altă parte, de pierderile prin efect corona $P_c$:

$$G = \frac{P_d + P_c}{U^2} \tag{10.3}$$

**Pierderi în dielectric.** Prin dielectricul care izolează conductoarele aflate sub tensiune se scurge întotdeauna un mic curent activ, numit curent de pierderi dielectrice. În condiţii normale de funcţionare, acest curent de pierderi capătă valori apreciabile numai în punctele de fixare a conductoarelor de izolatoare, unde izolaţia este mai slabă. Conductanţa determinată de pierderile dielectrice este foarte mică, de ordinul 0,0002—0,002 S/km. În cazul ploilor puternice, conductanţa poate să crească de cinci-şase ori, iar în cazul în care pe izolatoare există depuneri de praf conductor (praf de cărbune, în zonele industriale), conductanţa poate să crească de 100—200 de ori. Dat fiind că aceste depuneri apar numai pe sectoare limitate de linii, pentru care se efectuează o întreţinere specială (spălarea periodică a izolatoarelor), conductanţa poate fi considerată şi în aceste cazuri neglijabilă.

**Pierderi prin efect corona.** Atunci cînd intensitatea cîmpului electric la suprafaţa conductoarelor sub tensiune depăşeşte o anumită valoare, se

produce așa-numitul *efect corona*, care nu este altceva decît o descărcare electrică în aer. Sarcinile electrice de pe conductoare se scurg în mediul exterior prin canale de descărcare ionizînd particulele de gaz și producînd un efect luminos, ca o coroană în jurul conductoarelor. Se recomandă ca aceste pierderi să fie determinate experimental.

Liniile electrice se construiesc întotdeauna astfel încît efectul corona să nu apară în mod normal și aceasta nu numai pentru a se evita pierderile de energie, dar și pentru a se evita alte consecințe dăunătoare cum ar fi : corodarea conductoarelor, perturbațiile radiofonice și influența asupra liniilor de telecomunicație. Singurul caz în care se admite efectul corona este cel al liniilor cu caracter provizoriu, construite pentru alimentarea unor șantiere sau instalații provizorii.

Evitarea efectului corona pe linii se realizează prin adoptarea unor soluții tehnice, care nu întîmpină dificultăți și nu necesită cheltuieli suplimentare prea mari. O soluție constă în a mări raza conductoarelor, fără a le mări însă secțiunea, pentru a nu le scumpi. Se ajunge astfel la soluția conductoarelor tubulare sau la conductoarele de oțel-aluminiu.

O altă soluție constă în a utiliza mai multe conductoare (două sau trei) pentru fiecare fază a liniei (conductoare fasciculare sau jumelate, ceea ce are ca efect micșorarea cîmpului electric, la suprafața conductoarelor.

## 3. Susceptanța capacitivă

Fiecare dintre conductoarele unei linii trifazate are față de pămînt o anumită *capacitate proprie*, iar între fiecare pereche de conductoare există o *capacitate mutuală*. În cazul unei linii trifazate cu o dispoziție simetrică a fazelor se poate considera că cele trei capacități proprii ale fazelor sînt egale între ele și, de asemenea, cele trei capacități mutuale dintre faze sînt egale între ele.

La studiul funcționării liniei în regim permanent, cu curenți sinusoidali de pulsație ($\omega = 2\pi f$) industrială intervin susceptanțele capacitive, definite pentru unitatea de lungime a liniei, conform relațiilor :

$$B_p = \omega C_p ; \qquad B_m = \omega C_m, \tag{10.4}$$

în care :

$B_p$ este susceptanța capacitivă proprie, în S/km ;

$B_m$ — susceptanța capacitivă mutuală, în S/km ;

$C_p$ — capacitatea proprie, în F/km ;

$C_m$ — capacitatea mutuală, în F/km.

Se demonstrează că fiecare din fazele 1, 2, 3 ale liniei se comportă ca o admitanță $Y_1 = Y_2 = Y_3 = Y_p - Y_m$. Studiul funcționării liniei trifazate în regim simetric poate fi făcut pentru o singură fază, folosindu-se în acest scop o schemă monofilară, în care intervine o admitanță unică a liniei :

$$Y_L = Y_p - Y_m = j(B_p - B_m) = jB_L = j\omega C_L. \tag{10.5}$$

Susceptanța $B_L$ astfel definită poartă numele de susceptanță de lucru sau ciclică a liniei, iar capacitatea corespunzătoare $C_L$ poartă numele de ca-

pacitatea de lucru sau ciclică a liniei. Susceptanța de lucru și capacitatea de lucru pe unitatea de lungime se calculează cu ajutorul unor relații, care se demonstrează în electrotehnică :

$$B_L = \frac{7{,}58 \cdot 10^{-6}}{\log \frac{d_{med}}{r}} [\text{S/km}]. \tag{10.6}$$

în care :

$d_{med}$ este media geometrică a distanțelor între conductoare

$$d_{med} = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}} ;$$

$r$ — raza reală (geometrică) a conductoarelor.

*Exemplul 10.2.* Să se determine susceptanța capacitivă de lucru a unei linii trifazate cu conductoare de OL-Al-185, dispuse într-un plan orizontal la distanța de 300 cm între ele.

Din tabelă rezultă : $r = 0{,}96$ cm.

Se calculează :

$$d_{med} = \sqrt[3]{300 \cdot 600 \cdot 300} = 379 \text{ cm} ;$$

$$B_L = \frac{7{,}58 \cdot 10^{-6}}{\log \frac{379}{0{,}96}} = 2{,}91 \cdot 10^{-6} \text{ S/km}.$$

## 4. Reactanța inductivă

Se știe că orice circuit electric posedă o *inductanță proprie*, iar în cazul mai multor circuite între ele există *inductanțe mutuale*. Linia electrică trifazată poate fi considerată ca un sistem de trei circuite (conductor-pămînt), astfel încît se pot defini inductanțele proprii ale fazelor, precum și inductanțele mutuale dintre faze. În cazul unei linii trifazate, cu o dispoziție simetrică a fazelor, se poate considera că inductanțele proprii ale fazelor sînt egale între ele și de asemenea, inductanțele mutuale dintre faze sînt egale între ele.

La studiul funcționării liniei în regim permanent, cu curenți sinusoidali de frecvență industrială intervin reactanțele inductive, definite pe unitatea de lungime a liniei :

$$X_p = \omega l [\Omega/\text{km}] ;$$

$$X_m = \omega m [\Omega/\text{km}]. \tag{10.7}$$

unde :

$X_p$ este reactanța inductivă proprie, în Ω/km ;

$X_m$ — reactanța inductivă mutuală, în Ω/km ;

$l$ — inductanța proprie, în H/km ;

$m$ — inductanța mutuală, în H/km.

Se demonstrează că fiecare dintre fazele 1, 2, 3 ale unei linii trifazate simetrice se comportă ca o impedanță :

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_p - Z_m. \tag{10.8}$$

Funcționarea liniei trifazate în regim simetric poate fi studiată pentru o singură fază, folosindu-se în acest scop o schemă monofilară, în care intervine o impedanță unică a liniei:

$$Z_L = Z_p - Z_m = R + j(X_p - X_m) = R + jX_L, \tag{10.9}$$

unde:

$Z_p$ este impedanța proprie a unei faze;

$Z_m$ — impedanța mutuală dintre două faze.

Reactanța $X_L$ astfel definită, poartă numele de *reactanță de lucru* sau *ciclică*. Reactanța de lucru pentru unitatea de lungime a liniei poate fi calculată cu ajutorul unei relații, care se demonstrează în electrotehnică:

$$X_L = X_p - X_m = 0{,}145 \log \frac{d_{med}}{r_e}, \tag{10.10}$$

în care:

$d_{med}$ este media geometrică a distanțelor $d_{12}$, $d_{23}$, $d_{31}$ dintre conductoarele fazelor, $d_{med} = \sqrt[3]{d_{12},\ d_{23},\ d_{31}}$;

$r_e$ — raza echivalentă a conductoarelor, care se exprimă în funcție de raza reală $r_0$ (geometrică) a conductoarelor, astfel:

$r_e = 0{,}779\ r_0$ pentru conductoare monofilare neferomagnetice;

$r_e = (0{,}724 \ldots 0{,}771)\ r_0$ pentru conductoare monofilare de cupru;

$r_e = 0{,}95\ r_0$ pentru conductoare de oțel-aluminiu.

*Exemplul 10.3.* Să se determine reactanța de lucru a unei linii trifazate cu conductoare de OL-Al-150, dispuse într-un plan orizontal, la distanța de 4 m între ele.

Din tabele rezultă: $r_0 = 0{,}865$ cm.

Se calculează:

$$d_{med} = \sqrt[3]{400 \cdot 800 \cdot 400} = 504 \text{ cm};$$

$$r_e = 0{,}95 r_0 = 0{,}95 \cdot 0{,}865 = 0{,}82 \text{ cm}.$$

Introducîndu-se aceste valori în relația (10.10) se obține:

$$X_L = 0{,}145 \log \frac{504}{0{,}82} = 0{,}423\ \Omega/\text{km}.$$

## B. PARAMETRII TRANSFORMATOARELOR

Un transformator monofazat cu două înfășurări, primară și secundară, se poate reprezenta printr-o schemă echivalentă de forma Γ (fig. 10.2), care este raportată fie la primar, fie la secundar. Schema echivalentă din figura 10.2 este valabilă și pentru transformatorul cu două înfășurări, dacă regimul de funcționare este permanent simetric.

Parametrii schemei echivalente se determină pe baza măsurărilor efectuate în două regimuri particulare.

În regimul de mers în gol ($I_s = 0$) se măsoară puterile activă și reactivă la bornele înfășurării primare:

$$P_0 + jQ_0 = U_n^2(G + jB). \tag{10.11}$$

Din relația (10.11) rezultă relațiile pentru calculul parametrilor $G$ și $B$

$$G = \frac{P_0}{U_n^2} = \frac{P_0}{S_n}\frac{S_n}{U_n^2} = \frac{p_0\%}{100}\frac{S_n}{U_n^2}$$
$$B = \frac{Q_0}{U_n^2} = \frac{Q_0}{S_n}\frac{S_n}{U_n^2} = \frac{q_0\%}{100}\frac{S_n}{U_n^2} \qquad (10.12)$$

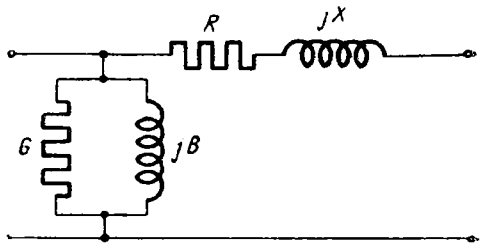



Fig. 10.2. Schema echivalentă a transformatorului cu două înfășurări.

unde:

$p_0\%$ este puterea activă procentuală de mers în gol;

$q_0\%$ — puterea reactivă procentuală de mers în gol: $q_0\% = i_0\%$.

În regimul de mers în scurtcircuit ($U_s = 0$) se măsoară puterea activă $P_{sc}$ și tensiunea $U_{sc}$ la bornele înfășurării primare:

$$P_{sc} \approx 3RI_n^2;$$
$$U_{sc} \approx \sqrt{3}XI_n. \qquad (10.13)$$

Din (10.13) rezultă relațiile pentru calculul parametrilor $R$ și $X$:

$$R = \frac{P_{sc}}{3I_n^2} = P_{sc}\frac{U_n^2}{S_n^2} = \frac{p_{sc}\%}{100}\frac{U_n^2}{S_n};$$

$$X = \frac{U_{sc}}{\sqrt{3}I_n} = U_{sc}\frac{U_n}{S_n} = \frac{u_{sc}\%}{100}\frac{U_n^2}{S_n}, \qquad (10.14)$$

în care:

$p_{sc}\%$ este puterea activă procentuală de scurtcircuit;

$u_{sc}\%$ — tensiunea procentuală de scurtcircuit.

## C. CALCULUL REPARTIȚIEI CURENȚILOR ȘI TENSIUNILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

Calculul rețelelor de diferite tipuri prezintă unele particularități, determinate de aproximațiile care se pot introduce. Astfel, în cazul rețelelor de joasă și medie tensiune se pot neglija de cele mai multe ori parametrii transversali ai liniilor (admitanțele), ceea ce duce la o simplificare a calculelor fără a se introduce erori prea mari. În cazul rețelelor de înaltă tensiune este necesar să se țină seamă de toți parametrii schemelor și de aceea calculul devine mai complicat.

O caracteristică comună rețelelor de joasă și de înaltă tensiune constă în faptul că, de cele mai multe ori consumatorii lor sînt dați prin puteri și nu prin curenți. Din această cauză este necesar să se efectueze calculul în două etape: în prima etapă se determină curenții consumatorilor, considerîndu-se că tensiunile sînt egale cu cele nominale, iar în a doua etapă se calculează căderile de tensiune pe fiecare ramură și se însumează succesiv, pornindu-se de la un nod cu tensiunea cunoscută.

## 1. Linia trifazată cu un singur consumator

Se va considera mai întîi cazul simplu al unei linii de rezistență $R$ și reactanță $X$, avînd la un capăt sursa de alimentare, iar la celălalt capăt consumatorul. Considerîndu-se cunoscute tensiunea $U_2$, curentul $I_2$ și factorul de putere cos $\varphi_2$ al consumatorului, se va determina pierderea de tensiune pe linie.

Dat fiind că cele trei faze ale instalației au regimuri de funcționare similare, este suficient să se studieze funcționarea unei singure faze, cu ajutorul schemei monofazate din figura 10.3, *a*. În această schemă, conductorul de ducere este reprezentat de conductorul fazei, iar conductorul de întoarcere este reprezentat de un conductor fictiv, care nu are impedanță. Introducerea conductorului fictiv este necesară pentru înțelegerea funcționării schemei monofazate. Desigur că în realitate nu există acest conductor de întoarcere, pentru că în rețeaua trifazată, curentul care vine la un moment dat pe o fază se întoarce pe celelalte două.

În cazul în care rețeaua are fir neutru, acesta poate juca în mod efectiv rolul conductorului de întoarcere la funcționarea în regimuri nesimetrice. Dacă rețeaua funcționează în regim simetric, cum s-a admis la început, conductorul de întoarcere din schema monofazată rămîne un conductor fictiv de impedanță zero.

Căderea de tensiune pe linie va fi determinată numai de căderea de tensiune în conductorul de ducere.

Se va rezolva mai întîi problema pe cale grafică, construindu-se în acest scop diagrama fazorială de funcționare a liniei, așa cum se arată în figura 10.3, *b*. În această diagramă, mărimile sinusoidale ale tensiunilor și ale curenților sînt reprezentate prin mărimi fazoriale. Tensiunea pe fază $\underline{V}_2 = \frac{1}{\sqrt{3}}\underline{U}_2$ este reprezentată prin fazorul *oa*, suprapus cu axa orizontală, iar curentul $\underline{I}_2$ este reprezentat prin fazorul *oi*, defazat față de tensiunea $\underline{V}_2$.

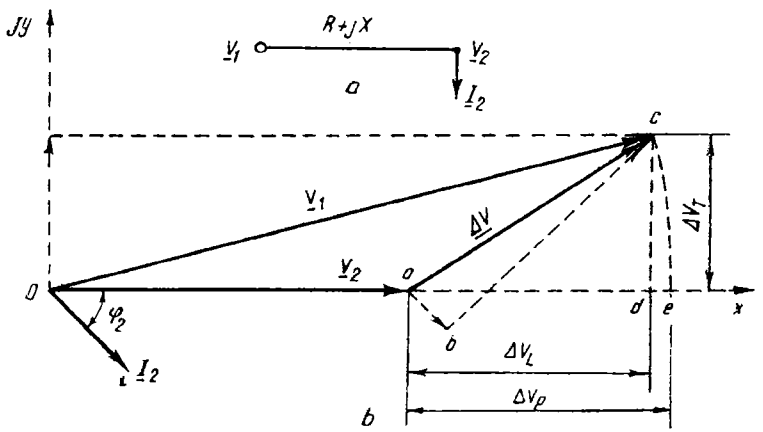



Fig. 10.3. Linie electrică de curent alternativ cu un singur consumator :
*a* — schema monofazată de calcul ; *b* — diagrama fazorială de funcționare.

cu un unghi $\varphi_2$ (inductiv). Fazorul *ab*, paralel cu *oi*, reprezintă căderea de tensiune $RI$ în rezistența liniei, iar fazorul *bc*, perpendicular pe *oi*, reprezintă căderea de tensiune $XI$ în reactanța liniei. Conturul *oa*, *ab*, *bc* este închis de fazorul *oc*, care reprezintă tensiunea pe fază $\underline{V}_1$ din capătul de alimentare al liniei.

Diferența algebrică a tensiunilor $\underline{V}_1$, $\underline{V}_2$ din capetele liniei reprezintă pierderea de tensiune $\Delta V_p$ în linie. Pierderea de tensiune $\Delta V_p$ este reprezentată în diagramă prin segmentul *ae*, obținut prin scăderea segmentului *oa* din $oe = oc$.

Pentru a se găsi expresia analitică a pierderii de tensiune care interesează la alegerea secțiunii conductoarelor, este necesar să se determine mai întîi căderile de tensiune pe linie, definite după cum urmează:

Căderea de tensiune totală în linie $\Delta \underline{V}$ se definește ca fiind diferența fazorială a tensiunilor $\underline{V}_1$ și $\underline{V}_2$ din capetele liniei și este reprezentată pe diagramă prin fazorul *ac*.

Căderea de tensiune longitudinală $\Delta V_L$ se definește ca fiind proiecția pe axa orizontală a căderii de tensiune $\Delta \underline{V}$ și este reprezentată pe diagramă prin segmentul *ad*.

Căderea de tensiune transversală $\Delta V_T$ se definește ca fiind proiecția pe axa verticală a căderii de tensiune $\Delta \underline{V}$ și este reprezentată pe diagramă prin segmentul *dc*.

Căderile de tensiune longitudinală *ad* și transversală *dc* pot fi exprimate în funcție de căderile de tensiune *ab* și *bc*, din rezistență și reactanță după cum urmează:

$$ad = ab \cos \varphi_2 + bc \sin \varphi_2;$$

$$cd = -ab \sin \varphi_2 + bc \cos \varphi_2,$$

sau

$$\Delta V_L = RI_2 \cos \varphi_2 + XI_2 \sin \varphi_2;$$

$$\Delta V_T = -RI_2 \sin \varphi_2 + XI_2 \cos \varphi_2, \qquad (10.15)$$

sau

$$\Delta V_L = RI_a + XI_r;$$

$$\Delta V_T = XI_a - RI_r,$$

unde:

$I_2 \cos \varphi_2 = I_a$ este curentul activ, în fază cu tensiunea $V_2$;

$I_2 \sin \varphi_2 = I_r$ — curentul reactiv defazat cu 90° în urmă față de tensiunea $V_2$.

Pierderea de tensiune în linie se exprimă cu relația:

$$ae = oc - oa = \sqrt{(oa + ad)^2 + (cd)^2} - oa,$$

sau:

$$\Delta V_p = V_1 - V_2 = \sqrt{(V_2 + \Delta V_L)^2 + \Delta V_T^2} - V_2. \qquad (10.16)$$

Relația obținută poate fi utilizată pentru calculul pierderilor de tensiune atît în rețelele de joasă tensiune, cît și în cele de înaltă tensiune. Avîndu-se în vedere alegerea secțiunii conductoarelor în rețelele de joasă și medie tensiune, relația (10.16) poate fi simplificată dacă se face aproximația foarte

apropiată de realitate, că termenul $\Delta V_T^2$ este neglijabil față de termenul $(V_2 + \Delta V_L)^2$. În aceste condiții, relația (10.16) devine $\Delta V_p = \Delta V_L$. Ținîndu-se seamă și de (10.15) rezultă:

$$\Delta V_p = \Delta V_L = RI_a + XI_r. \tag{10.17}$$

Din cele de mai sus rezultă că, pentru calculele practice în vederea alegerii secțiunii conductoarelor, pierderea de tensiune $\Delta V_p$ poate fi luată egală cu căderea de tensiune longitudinală $\Delta V_L$. Pierderea de tensiune dată de relația (10.17) poate fi exprimată în funcție de puteri, folosindu-se relațiile cunoscute:

$$I_a = \frac{P}{\sqrt{3}\,U_2}; \qquad I_r = \frac{Q}{\sqrt{3}\,U_2}. \tag{10.18}$$

Relațiile (10.18) se introduc în (10.17) și se admite $U_2 \approx U_n$:

$$\Delta U_p = \frac{1}{U_n}(RP + XQ), \tag{10.19}$$

unde:

$\Delta U_p$ este pierderea de tensiune între faze, $\Delta U_p = \sqrt{3}\,\Delta V_p$;
$P$ — puterea activă trifazată;
$Q$ — puterea reactivă trifazată;
Din (10.16) și (10.17) mai rezultă:

$$V_1^2 = (V_2 + RI_a + XI_r)^2 + (XI_a - RI_r)^2. \tag{10.20}$$

Din (10.20) și (10.18) se obține:

$$U_1^2 = \left[U_2 + \frac{1}{U_2}(RP + XQ)\right]^2 + \frac{1}{U_2^2}(XP - RQ)^2. \tag{10.21}$$

În ipoteza că sînt date puterile $P$, $Q$ și tensiunea $U_1$, relația (10.21) permite calculul exact al tensiunii $U_2$.

## 2. Linia trifazată cu mai mulți consumatori

Se consideră o linie trifazată cu trei consumatori alimentați dintr-un singur capăt al liniei (fig. 10.4). Cu notațiile din figură se exprimă căderea de tensiune pe linie, însumîndu-se căderile de tensiune pe tronsoane:

$$\Delta \underline{V} = \underline{z}_1(\underline{i}_1 + \underline{i}_2 + \underline{i}_3) + \underline{z}_2(\underline{i}_2 + \underline{i}_3) + \underline{z}_3\underline{i}_3 = \\ = \underline{z}_1\underline{I}_1 + \underline{z}_2\underline{I}_2 + \underline{z}_3\underline{I}_3 = \Sigma \underline{z}_i\underline{I}_i \tag{10.22}$$

sau:

$$\Delta \underline{V} = \underline{z}_1\underline{i}_1 + (\underline{z}_1 + \underline{z}_2)\underline{i}_2 + (\underline{z}_1 + \underline{z}_2 + \underline{z}_3)\underline{i}_3 = \\ = \underline{z}_1\underline{i}_1 + \underline{z}_2\underline{i}_2 + \underline{z}_3\underline{i}_3 = \Sigma \underline{z}_i\underline{i}_i. \tag{10.23}$$

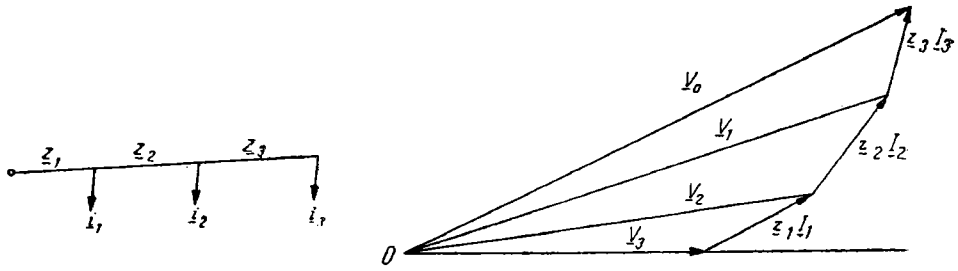



Fig. 10.4. Linie electrică de curent alternativ cu trei consumatori.

În relația (10.22) se consideră $\Delta V = V_0 - V_3$ și se construiește diagrama fazorială în care j este operatorul de rotație.

Dacă $Z = R + jX$ și $I = I_a - jI_r$ se obține din (10.22) și (10.23):

$$\Delta V_L = \Sigma(r_i I_{ai} + x_i I_{ri}) = \frac{1}{U_n}\Sigma(r_i P_i + x_i Q_i)$$
$$\Delta V_L = \Sigma(R_i i_{ai} + X_i i_{ri}) = \frac{1}{U_n}\Sigma(R_i p_i + X_i q_i). \qquad (10.24)$$

## D. DETERMINAREA SECȚIUNII CONDUCTOARELOR

La determinarea secțiunii conductoarelor trebuie să se țină seamă de regimurile cele mai grele, care ar putea interveni în funcționarea normală sau cu deranjament a rețelei. Pentru rețelele ramificate, determinarea acestor regimuri nu întîmpină nici o dificultate, deoarece calculul se reduce la însumarea curenților de sarcină în fiecare punct de ramificație a rețelei. Pentru rețelele buclate problema se rezolvă, de asemenea, pe o cale simplă, deoarece se admite că cele mai grele regimuri apar atunci cînd rețeaua este deschisă și deci funcționează ca o rețea ramificată. În consecință, oricare ar fi configurația rețelei, conductoarele se dimensionează folosindu-se metodele de calcul pentru rețeaua ramificată.

Un caz special îl reprezintă rețeaua urbană de joasă tensiune de tip „plasă". Rețeaua de tip plasă este transformată într-o rețea ramificată, iar secționarea unor linii în punctele în care se presupune că circulația de curenți este mai redusă. Aceste puncte de secționare se aleg egal depărtate de punctele de alimentare, astfel încît în final se obțin mai multe rețele ramificate, alimentate separat din punctele de alimentare. După dimensionarea conductoarelor acestor subrețele ramificate se trece la calculul regimului de funcționare în rețeaua reală, buclată, și se verifică secțiunile alese. În urma acestei verificări este posibil ca în unele ramuri să fie necesară modificarea secțiunii, în special în sensul micșorării ei. Alegerea finală a secțiunilor se face ținîndu-se seamă și de necesitatea utilizării unui număr cît mai redus de secțiuni.

Secțiunea conductoarelor în rețelele ramificate se alege pe baza următoarelor considerente tehnico-economice:

— încălzirea conductoarelor în urma trecerii curentului electric să nu depășească o anumită limită admisibilă. Nerespectarea acestei condiții are consecințele cele mai grave, deoarece duce la deteriorarea conductoarelor și a izolației și la scoaterea din funcțiune a liniei;

— pierderile de tensiune să nu depășească anumite valori admisibile. Nerespectarea acestei condiții are drept consecință o funcționare necorespunzătoare a consumatorilor și chiar scoaterea lor din funcțiune;

— pierderile de energie activă în rezistențele rețelei să se mențină în anumite limite, rezultate din calculele tehnico-economice. Nerespectarea acestei condiții are drept consecință mărirea costului energiei livrate consumatorilor.

Fiecare dintre condițiile menționate poate să determine secțiuni diferite pentru conductoare. Întotdeauna trebuie să se aleagă secțiunea cea mai mare.

Pentru anumite rețele nu este necesar să se facă calculul secțiunilor în toate cele trei condiții, deoarece se poate aprecia de la început, care este condiția cea mai grea, pe baza căreia trebuie determinată secțiunea.

Pentru rețelele de joasă tensiune având o întindere redusă, condiția cea mai grea este dată de încălzirea conductoarelor. După alegerea secțiunilor pe baza încălzirii conductoarelor, este necesar uneori să se facă și o verificare a pierderilor de tensiune.

Pentru rețelele de joasă și medie tensiune relativ întinse, condiția cea mai grea este dată de necesitatea limitării pierderilor de tensiune. După alegerea secțiunilor pe baza pierderilor de tensiune, este necesar uneori să se facă și o verificare a încălzirii conductoarelor.

Pentru rețelele de înaltă tensiune nu se pune problema limitării pierderilor de tensiune în rezistențe, care sînt mici în comparație cu reactanțele. În acest caz se pune problema limitării pierderilor de energie activă în rezistențe. Pe baza unor calcule tehnico-economice se stabilește care este secțiunea recomandabilă a conductoarelor, luîndu-se în considerație costul conductoarelor și costul pierderilor de energie.

## 1. Determinarea secțiunii conductoarelor pe baza încălzirii admisibile

Pentru a nu se periclita starea conductoarelor sau a izolației lor, este necesar ca temperatura conductoarelor să nu depășească anumite valori admisibile în diferite regimuri de funcționare, cum ar fi: funcționarea cu curenți nominali de durată, funcționarea cu curenți de suprasarcină de scurtă durată (cum sînt curenții de pornire ai motoarelor asincrone), funcționarea cu curenți de scurtcircuit de scurtă durată. Dintre aceste regimuri, primele două trebuie considerate normale, în timp ce ultimul este un regim accidental, a cărui acțiune poate fi limitată prin luarea unor măsuri corespunzătoare.

Pentru limitarea duratei de acționare a curenților de scurtcircuit se utilizează siguranțe fuzibile și relee care comandă declanșarea întreruptoarelor automate.

Utilizarea siguranțelor fuzibile care au o acțiune rapidă permite dimensionarea conductoarelor fără a se ține seamă de curenții de scurtcircuit. În acest caz, alegerea secțiunii conductoarelor în funcție de încălzire trebuie să se facă în legătură cu alegerea siguranțelor fuzibile.

Se știe că în timpul trecerii curentului electric printr-un conductor, acesta se încălzește datorită dezvoltării unei cantități de căldură care se poate calcula cu ajutorul legii Joule-Lenz:

$$Q_1 = RI^2t \text{ [Ws]}. \tag{10.25}$$

O parte din căldura dezvoltată se acumulează în conductor, ridicîndu-i temperatura, iar o altă parte se transmite mediului exterior. Odată cu creșterea diferenței de temperatură ($\Delta\theta$) dintre aceea a conductorului ($\theta_c$) și a mediului exterior ($\theta_m$), crește și cantitatea de căldură transmisă mediului exterior. La sfîrșitul procesului de încălzire, cantitatea de căldură transmisă mediului exterior devine egală cu cantitatea de căldură dezvoltată în conductor astfel încît temperatura acestuia nu mai crește, ci capătă o anumită valoare finală. Pentru ca temperatura finală să nu depășească o anumită valoare periculoasă, este necesar ca mărimea curentului să nu depășească anumite valori admisibile.

Curenții admisibili de durată pentru diferite tipuri de conductoare standardizate sînt dați în tabele. În practică, determinarea secțiunii conductoarelor pe baza încălzirii se reduce la verificarea condiției:

$$I_e < I_a \tag{10.26}$$

în care:

$I_e$ este curentul de exploatare;

$I_a$ — curentul admisibil din tabele.

La verificarea condiției (10.26) trebuie să se țină seamă de faptul că valorile curenților admisibili din tabele corespund unor anumite condiții de montaj al conductoarelor și anume:

— se consideră că temperatura mediului exterior este $\theta_0 = 25°C$;

— se consideră că distanța dintre conductoare este suficient de mare pentru ca acestea să nu-și înrăutățească reciproc condițiile de răcire.

În cazul în care temperatura mediului exterior diferă de 25°C, curentul admisibil se determină cu relația:

$$I_{a\theta} = \alpha_\theta I_{a0}, \tag{10.27}$$

în care:

$I_{a\theta}$ este curentul admisibil la temperatura mediului exterior diferită de 25°C;

$I_{a\theta}$ — curentul admisibil la temperatura mediului exterior $\theta_0 = 25°C$ (se ia din tabele);

$\alpha_\theta$ — coeficientul de corecție pentru temperatură (se ia din tabele).

Dacă temperatura mediului exterior este mai mare decît 25°C, atunci coeficientul de corecție $\alpha_\theta < 1$ și deci curentul admisibil calculat $I_{a\theta}$ va fi mai mic decît curentul admisibil $I_{a0}$ luat din tabele. Dacă temperatura mediului exterior este mai mică decît 25°C, atunci coeficientul de corecție $\alpha_\theta > 1$ și curentul admisibil calculat $I_{a\theta}$ va fi mai mare decît curentul admisibil $I_{a\theta}$ luat din tabele.

În cazul în care distanța dintre conductoare nu este suficient de mare, așa cum se întîmplă la pozarea mai multor cabluri alăturate, este necesar să se micșoreze curentul admisibil conform relației:

$$I_{an} = \alpha_n I_{a0}, \tag{10.28}$$

în care:

$I_{an}$ este curentul admisibil în fiecare dintre cele $n$ cabluri pozate alăturat, la $\theta_0 = 25°C$;

$I_{a0}$ — curentul admisibil la temperatura mediului exterior $\theta_0 = 25°C$;

$\alpha_n$ — coeficientul de corecție mai mic decît unitatea, care ține seamă de numărul cablurilor pozate împreună și de distanța dintre ele (se ia din tabele).

În cazul în care se pozează împreună mai multe cabluri, iar temperatura mediului exterior diferă de 25°C, este necesar să se țină seama de ambii coeficienți de corecție $\alpha_n$ și $\alpha_\theta$, astfel încît curentul admisibil se calculează cu relația:

$$I_{an\theta} = \alpha_n \alpha_\theta I_{a0}. \tag{10.29}$$

Din cele de mai sus rezultă că în cazurile cele mai generale condiția (10.26) pentru alegerea conductoarelor în funcție de încălzire trebuie să se scrie sub forma:

$$I_e < I_{an\theta}. \tag{10.30}$$

## 2. Determinarea secțiunii conductoarelor pe baza pierderilor de tensiune

Pierderile de tensiune admisibile se stabilesc prin calcule tehnico-economice. Pe baza experienței de proiectare și de exploatare se pot face recomandări generale.

— Pentru rețeaua de alimentare de înaltă tensiune (de la sursa de alimentare pînă la barele de înaltă tensiune ale posturilor de transformare) se admit următoarele pierderi procentuale de tensiune:

8% pentru rețelele aeriene în regim normal;

6% pentru rețelele în cablu în regim normal;

12% pentru rețelele aeriene în regim de deranjamente;

10% pentru rețelele în cablu în regim de deranjamente.

— Pentru rețeaua de distribuție (de la barele de joasă tensiune ale posturilor de transformare pînă la barele receptoarelor) se admit următoarele pierderi de tensiune:

6% pentru iluminatul locuințelor;

5% pentru motoare electrice;

2,5% pentru iluminatul întreprinderilor industriale.

Secțiunile conductoarelor se determină punîndu-se condiția ca pierderile de tensiune pe circuitele electrice să fie mai mici sau egale cu pierderile de tensiune admisibile:

$$\Delta U_p \leqslant U_a. \tag{10.31}$$

Înlocuindu-se în relația (10.31) una dintre expresiile pierderii de tensiune (10.13), (10.14) sau (10.23), (10.24), se obține o primă condiție pentru determinarea secțiunii conductoarelor.

Pe lîngă condiția (10.31) mai trebuie să se adauge una dintre următoarele ipoteze :

— ipoteza secțiunii constante a conductoarelor din toate tronsoanele rețelei considerate ;

— ipoteza densității de curent constante în toate conductoarele rețelei considerate ;

— ipoteza ca volumul materialului conductor să fie minim.

Se observă că în relațiile (10.23) și (10.24) ultimii termeni care conțin reactanțele tronsoanelor pot fi determinați cu o bună aproximație, fără a se cunoaște secțiunea conductoarelor. Această posibilitate se datorează faptului că reactanța unei linii variază puțin cu secțiunea conductoarelor, astfel încît se poate lucra întotdeauna cu o valoare medie a reactanței $x_0 =$ $= (0{,}35 \ldots 0{,}4)$ Ω/km.

Din cele de mai sus rezultă că ultimii termeni din relațiile (10.23) și (10.24) trebuie considerați cunoscuți și de aceea vor fi trecuți în partea stîngă a ecuațiilor, în care termenii $\Delta V_p$ și $\Delta U_p$ sînt, de asemenea, cunoscuți conform relației (10.31). Se vor nota cu $\Delta V_{ac}$ și $\Delta U_{ac}$ termenii cunoscuți, trecuți în partea stîngă a ecuațiilor (10.23) și (10.24) :

$$\begin{aligned} \Delta V_{ac} &= \Delta V_a - X_0 \sum l_i I_{ri} = \Delta V_a - x_0 \sum L_i i_{ri} ; \\ \Delta U_{ac} &= \Delta U_a - \frac{X_0}{U_n} \sum l_i Q_i = \Delta U_a - \frac{X_0}{U_n} \sum L_i q_i . \end{aligned} \tag{10.32}$$

Cu aceste notații, relațiile (10.23) și (10.24) devin :

$$\begin{aligned} \Delta V_{ac} &= \sum r_i I_{ai} = \sum R_i i_{ai} ; \\ \Delta U_{ac} &= \frac{1}{U_n} \sum r_i P_i = \frac{1}{U_n} \sum R_i p_i . \end{aligned} \tag{10.33}$$

Relațiile (10.32) și (10.33) sînt analoage cu relațiile (10.23) și (10.24) obținute pentru liniile de curent continuu. În consecință, determinarea secțiunii conductoarelor se face în mod analog, pentru liniile de curent continuu și pentru cele de curent alternativ. Din punctul de vedere al calculului, căderea de tensiune $\Delta U_p$ se ia egală cu pierderea de tensiune admisibilă, în timp ce pentru linia de curent alternativ pierderea de tensiune $\Delta V_{ac}$ sau $\Delta U_{ac}$ se calculează cu relațiile (10.32).

În cele ce urmează se va face calculul numai pentru ipoteza secțiunii constante, calcul care este utilizat în mod curent în practică.

Pentru liniile de curent continuu se folosesc relațiile (10.23) sau (10.24) în care se introduce $\Delta U_p = \Delta U_a$, astfel că rezultă :

$$\begin{aligned} S &= \frac{2\rho}{\Delta U_a} \sum l_i I_i = \frac{2\rho}{\Delta U_a} \sum L_i i_i ; \\ S &= \frac{2\rho}{\Delta U_a U_n} \sum l_i P_i = \frac{2\rho}{\Delta U_a U_n} \sum L_i p_i . \end{aligned} \tag{10.34}$$

Pentru liniile trifazate de curent alternativ se folosesc relațiile (10.32) sau (10.33), din care rezultă:

$$S=\frac{\rho}{\Delta U_{ac}}\sum l_i I_{ai}=\frac{\rho}{\Delta U_{ac}}\Sigma L_i i_{ai},$$
$$S=\frac{\rho}{\Delta U_{ac}U_n}\sum l_i P_i=\frac{\rho}{\Delta U_{ac}U_n}\sum L_i p_i. \qquad (10.35)$$

*Exemplul 10.4.* Se consideră o linie trifazată de curent alternativ, care alimentează trei consumatori, așa cum se arată în figura 10.5. Pe figură sînt indicate: tensiunea liniei (în volți), lungimile tronsoanelor (în metri), puterile active (în kilowați) și factorii de putere ai consumatorilor. Considerîndu-se că cele trei tronsoane ale liniei sînt formate din conductoare de aluminiu ($\rho=\frac{1}{32}\ \Omega\cdot mm^2/m$) cu aceeași secțiune, se cere să se determine secțiunea conductoarelor, astfel încît pierderea de tensiune $\Delta X$, să nu depășească valoarea admisibilă $\Delta U_a=5\%U_n$.

Se va calcula mai întîi pierderea de tensiune $\Delta U_{ac}$, folosindu-se relația a doua din (10.32), în care se vor introduce valorile

$$\Delta U_a=\frac{3\,80\cdot 5}{100}=19\ V;\ x_0=0{,}35\ \Omega/km=\frac{0{,}35}{1\,000}\Omega/m$$

și

$$q_1=p_1\,tg\,\varphi=4\,500\cdot 0{,}625=2\,812\ var;$$
$$q_2=p_2\,tg\,\varphi=4\,500\cdot 0{,}75=3\,375\ var;$$
$$q_3=p_3\,tg\,\varphi=2\,800\cdot 0{,}488=1\,466\ var.$$

Se obține:

$$U_{ac}=19-\frac{0{,}35}{1\,000\cdot 380}[100\cdot 2\,812+(100+80)3\,375+(100+80+70)1\,466]=$$
$$=19-1{,}5=17{,}5\ V.$$

Folosindu-se relația a doua din (10.35) se obține secțiunea conductoarelor:

$$s=\frac{1}{32\cdot 17{,}5\cdot 380}(100\cdot 4\,500+180\cdot 4\,500+250\cdot 2\,800)=9{,}2\ mm^2.$$

Considerîndu-se că sarcinile rețelei vor crește, se alege secțiunea standardizată $s=16\ mm^2$. Din tabele rezultă că $r_0=1{,}96\ \Omega/km$ și $x_0=0{,}358\ \Omega/km$ (distanța medie dintre conductoarele fazelor s-a considerat de 600 mm).

Se calculează pierderea de tensiune folosindu-se relația (10.23):

$$\Delta U_p=\frac{1{,}96}{1\,000\cdot 380}(100\cdot 4\,500+180\cdot 4\,500+250\cdot 2\,800)+\frac{0{,}358}{1\,000\cdot 380}(100\cdot 2\,812+$$
$$+280\cdot 3\,375+250\cdot 1\,446)=10{,}3+1{,}53=11{,}83\ V<\Delta U_a=19\ V.$$

Rezultatele obținute arată că valoarea numerică a termenului $x_0\Sigma L_i q_i$ este mică în comparație cu valoarea numerică a termenului $x_0\Sigma L_i p_i$. Pentru simplificarea calculelor se recomandă ca primul termen să se neglijeze în unele cazuri, și anume:

— pentru liniile aeriene cu conductoare de cupru cu secțiuni mai mici de 10 $mm^2$;

— pentru liniile în cabluri trifazate cu secțiunile vinelor mai mici de 5 $mm^2$.

În cazul liniilor cu secțiuni mai mari decît cele menționate, termenul $x_i\Sigma L_0 q_i$ nu mai poate fi neglijat, deoarece el capătă valori comparabile cu cele ale termenului $r_0\Sigma L_i$.

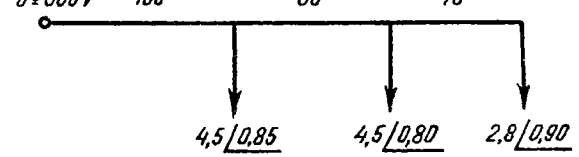



Fig. 10.5. Schemă pentru exemplul 10.4.

## 3. Determinarea secțiunii conductoarelor pe baza densității economice

Determinarea secțiunii conductoarelor în rețelele de înaltă tensiune nu se face nici pe baza pierderilor de tensiune, nici pe baza încălzirii conductoarelor. Reducerea pierderilor de tensiune în limitele dorite nu mai este posibilă prin simpla alegere convenabilă a secțiunii conductoarelor, deoarece în rețelele de înaltă tensiune rolul preponderent în privința pierderilor de tensiune nu-l au rezistențele, ci reactanțele. Alegerea secțiunii conductoarelor pe baza încălzirii admisibile ar prezenta dezavantaje din punct de vedere economic, datorită pierderilor mari de energie în rețele. Avîndu-se în vedere reducerea pierderilor de energie în rețea, este rațional ca secțiunea conductoarelor să fie mai mare decît cea determinată pe baza încălzirii admisibile, chiar dacă prin aceasta se ridică costul liniei.

Alegerea secțiunii optime a conductoarelor din rețelele de înaltă tensiune se face pe baza calculelor tehnico-economice, care iau în considerație, pe de o parte, costul pierderilor de energie electrică în linie, iar pe de altă parte, costul liniei.

**Calculul pierderilor de energie activă în liniile electrice.** Pierderea de energie activă în rezistențele liniei este dată de relația:

$$A = \Delta P t$$

în care:

$$\Delta P = 3I^2R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R.$$

Relațiile de mai sus ar fi aplicabile în cazul în care puterile sau curenții absorbiți de consumatori ar rămîne neschimbați în intervalul de timp considerat $t$. În realitate, puterile și curenții variază în mod continuu, astfel încît expresia energiei pierdute trebuie pusă sub forma unei sume efectuate într-un interval de timp, de exemplu, într-un an:

$$A_{anual} = 3 \sum_{an} I^2 E \, \Delta t. \tag{10.36}$$

Pierderea de energie anuală se evaluează în calculele practice cu ajutorul unui parametru $\tau$, numit timpul pierderilor maxime. Acest parametru reprezintă timpul în care rețeaua funcționează cu curentul maxim, și deci cu pierderile maxime, ar avea aceleași pierderi de energie ca și în cazul funcționării cu curentul real variabil, în timp de un an. Conform acestei definiții se poate scrie:

$$A_{anual} = 3I^2_{max} R\tau = \Delta P_{max} \, \tau,$$

sau:

$$\tau = \frac{A_{anual}}{P_{max}} \text{ [h]}. \tag{10.37}$$

Într-un mod asemănător se definește timpul de utilizare a puterii maxime:

$$T_m = \frac{A_{anual}}{P_{max}} \text{ [h]}. \tag{10.38}$$

Parametrul $T_m$ reprezintă timpul în care instalația, funcționînd la puterea maximă, ar debita aceeași energie ca și în cazul funcționării cu putere variabilă.

Se poate stabili dependența dintre parametrii $\tau$ și $T_m$ pentru diferite valori ale lui cos $\varphi$. În figura 10.6 este reprezentată diagrama pentru determinarea lui $\tau$ atunci cînd se cunosc parametrii $T_m$ și cos $\varphi$ pentru linia considerată cu un singur consumator.

**Determinarea secțiunii economice a conductoarelor.** Transportul energiei prin rețelele electrice necesită cheltuieli de exploatare care pot fi împărțite în patru categorii:

*Cheltuielile cauzate de pierderile de energie prin încălzirea conductoarelor din toate elementele instalației.* Pierderile de energie depind direct de rezistența conductoarelor și deci de secțiunea lor.

*Cheltuielile de amortisment pentru recuperarea cheltuielilor de investiții într-un anumit interval de timp.* Este evident că mărimea cotelor de amortisment depinde de costul instalației și, printre altele, de secțiunea conductoarelor.

*Cheltuieli pentru reparații curente,* cum sînt: vopsirea stîlpului, înlocuirea izolatoarelor, remedierea deranjamentelor etc. Se poate considera că aceste cheltuieli sînt independente de secțiunea conductoarelor.

*Cheltuieli pentru întreținere,* cum sînt: plata personalului tehnic și administrativ, asigurarea mijloacelor de transport, clădiri administrative etc. Aceste cheltuieli sînt independente de secțiunea conductoarelor.

Primele două categorii de cheltuieli, care depind de secțiunea conductoarelor liniei, pot fi evaluate după cum urmează:

— Cheltuielile cauzate de pierderea de energie pe linie, timp de un an sînt:

$$C_1 = 3\beta \tau I_{max}^2 \rho \frac{l}{s}, \tag{10.39}$$

în care:

$\beta$ este costul unui kilowatt/oră, în lei;

$\tau$ — timpul pierderilor maxime, în h.

— Cheltuielile anuale pentru amortizarea costului liniei sînt:

$$C_2 = a(k + bs)l, \tag{10.40}$$

în care:

$a$ este fracțiunea care reprezintă cota de amortizare raportată la costul liniei;

$k$ — cheltuieli independente de secțiunea conductorului, necesare la construcția unei linii de lungime egală cu unitatea;

$b$ — cheltuieli raportate la secțiunea conductorului ($s$), necesare pentru construcția unei linii de lungime egală cu unitatea.

Suma cheltuielilor:

$$C = C_1 + C_2 = 3\beta I_{max}^2 \frac{l}{s} \rho\tau + a(k + bs)l \tag{10.41}$$

poate fi reprezentată grafic printr-o curbă (fig. 10.7) care prezintă un minim. Acestui minim îi corespunde secțiunea economică a conductorului și, respectiv, densitatea economică de curent:

$$j_{ec} = \frac{I_{max}}{s_{ec}} \sqrt{\frac{a \cdot b}{3 \rho \tau \beta}} [\text{A/mm}^2]. \tag{10.42}$$

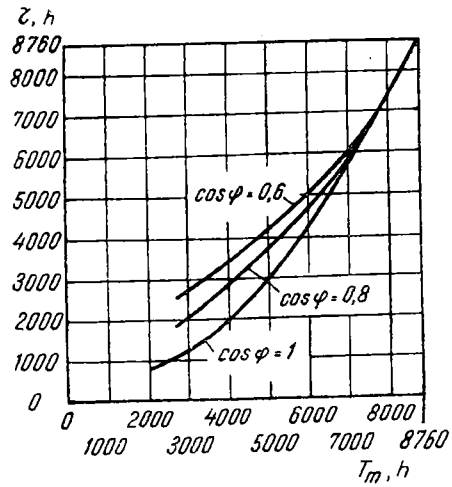



Fig. 10.6. Variația lui $\tau$ în funcție de $T_m$ și $\cos\varphi$.

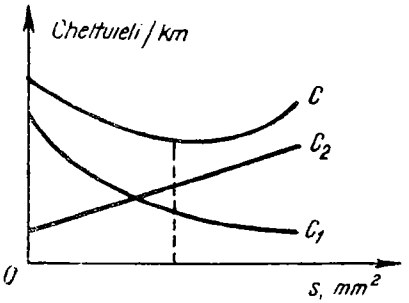



Fig. 10.7. Determinarea secțiunii economice.

Ținîndu-se seamă de diferite valori pe care le capătă parametrii din relația (10.42), se pot stabili densitățile economice recomandabile în diferite cazuri (tabelul 10.1).

*Tabelul 10.1*

**Densitățile economice de curent, în A/mm²**

| Felul liniei | Numărul orelor de utilizare a puterii maxime $T_m$ | | |
|---|---|---|---|
| | < 3 000 | 3 000–5 000 | 5 000> |
| Linii aeriene cu conductoare de cupru | 3 | 2,10 | 1,60 |
| Linii aeriene cu conductoare de cupru sau de oțel-aluminiu | 1,80 | 1,20 | 0,90 |
| Linii în cablu cu conductoare de cupru | 2,25 | 2,25 | 2 |

Tot în această ordine de idei, a limitării pierderilor de energie în rețele, trebuie să se țină seamă și de posibilitatea apariției pierderilor prin efect corona.

Pentru limitarea pierderilor prin efect corona la liniile cu tensiune mai mare de 35 kV, se utilizează conductoare speciale cu raza exterioară mărită. Secțiunea acestor conductoare se alege pe baza densității economice de curent și apoi se face o verificare a apariției efectului corona. În cazul în care secțiunea economică conduce la alegerea unui conductor cu o rază prea mică, este necesar să se mărească secțiunea, pentru a se evita în orice caz apariția pierderilor prin efect corona.

*Exemplul 10.5.* Să se determine după criterii economice secțiunea unei linii de 110 kV care trebuie să alimenteze un consumator cu puterea de 35 MW și factorul de putere cos $\varphi = 0{,}8$. Linia se construiește cu conductoare de oțel-aluminiu, iar timpul de utilizare a puterii maxime este $T_m = 4\,500$ h/an.

Conform prescripțiilor pentru liniile aeriene cu conductoare de oțel-aluminiu, la un număr de ore de utilizare a puterii maxime între 3 000 și 5 000 pe an, densitatea economică de curent este $j_{ec} = 1{,}2$ A/mm²:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\, U \cos \varphi} = \frac{35 \cdot 10^3}{3 \cdot 110 \cdot 0{,}8} = 230 \text{ A}.$$

Rezultă secțiunea:

$$s_{ec} = \frac{I}{j_{ec}} = \frac{230}{1{,}2} = 192 \text{ mm}^2.$$

Secțiunea normalizată care se alege este cea imediat inferioară, adică $s = 185$ mm².

Capitolul 11

# TRATAREA NEUTRULUI ÎN REȚELELE ELECTRICE

Tratarea neutrului înfășurărilor cu conexiunea în stea ale transformatoarelor prezintă mare importanță în funcționarea rețelelor electrice în cazul unor regimuri nesimetrice, adică atunci cînd suma fazorială a celor trei curenți nu mai este nulă.

În funcționarea normală, dacă rețeaua trifazată este încărcată simetric, respectiv curenții în fiecare fază sînt egali între ei și decalați cu 120° unul față de celălalt, potențialele neutrului transformatoarelor sînt egale cu zero și egale deci cu potențialul pămîntului. În acest caz faptul că neutrul transformatoarelor este izolat față de pămînt sau este legat la pămînt într-un mod oarecare nu prezintă importanță. Dacă apare însă punerea accidentală la pămînt a unei faze sau a două faze ale unei linii, comportarea rețelei este diferită, în funcție de modul în care este tratat neutrul rețelei, putînd apărea fie supratensiuni, fie curenți foarte mari, care solicită diferitele elemente componente ale rețelei.

Neutrul poate fi tratat în trei feluri și anume: izolat față de pămînt, legat la pămînt printr-o bobină de stingere sau legat direct la pămînt.

Aplicarea fiecăruia dintre aceste procedee depinde de caracteristicile rețelei.

## A. REȚELE CU NEUTRUL IZOLAT

În rețelele simetrice, cele trei capacități ale fazelor față de pămînt $C_{R_0}$, $C_{S_0}$ și $C_{T_0}$ (fig. 11.1, *a*) sînt egale între ele. Cînd sistemul de tensiuni este simetric, apare un sistem simetric de curenți capacitivi $I_{CR}$, $I_{CS}$ și $C_{CT}$ a căror rezultantă în fiecare moment este nulă (fig. 11.1, *b*).

În cazul în care apare o legătură accidentală la pămînt, într-un punct $K$, pe faza $R$ (fig. 11.2, *a*) atunci faza defectă $R$ capătă potențialul pămîntului, adică zero.

În această situație diferența de potențial aplicată la bornele capacității $C_{R_0}$ a fazei $R$ față de pămînt este zero și deci curentul prin această capacitate devine zero.

De asemenea, se poate observa că, dacă în $K$ potențialul este zero, potențialul punctului nostru al transformatorului nu mai este zero, ci devine egal cu tensiunea pe fază și trebuie izolat în mod corespunzător. Rezultă astfel

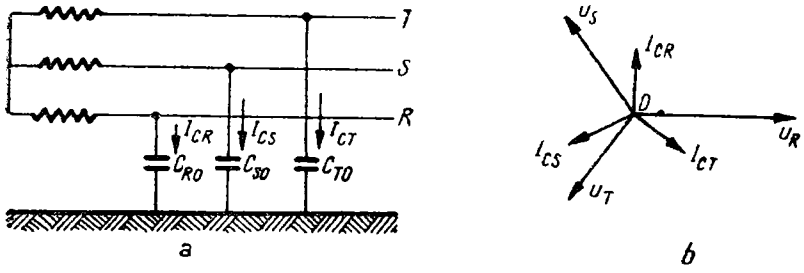



Fig. 11.1. Situația normală într-o rețea cu neutrul izolat.

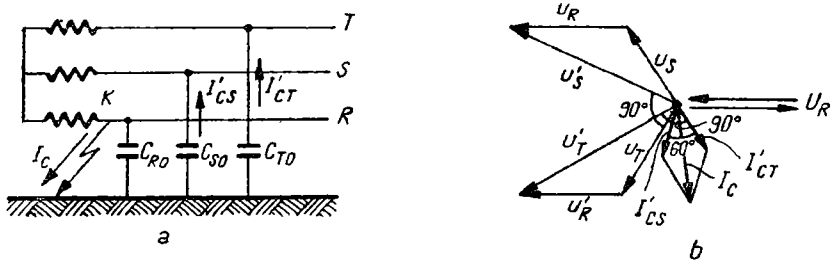



Fig. 11.2. Punerea la pământ a unei faze într-o rețea cu neutrul izolat.

că tensiunea fazelor sănătoase $S$ și $T$ față de pământ nu mai este egală cu tensiunea pe fază, ci devine egală cu tensiunea între faze, deci crește cu $\sqrt{3}$ față de situația normală. Aceasta înseamnă supratensionarea fazelor sănătoase, adică suprasolicitarea izolației liniei. Din diagrama fazorială reprezentată în figura 11.2, *b* se poate constata această schimbare a valorilor tensiunii fazei $R$ față de pământ, care devine zero, precum și ale fazelor sănătoase $U_S$ și $U_T$ care devin $U'_S$ și $U'_T$, egale cu tensiunile între faze.

Sistemul de curenți capacitivi nu mai este simetric, deoarece $I_{CR} = 0$, iar curenții $I'_{CS}$ și $I'_{CT}$ care parcurg capacitățile $C_{S_0}$ și $C_{T_0}$, datorită aplicării tensiunilor $U_S$ și $U_T$, egale între ele, au o rezultantă, care nu mai este zero și care se determină astfel:

$$I'_{CS} = I'_{CT} = U'_S C_{S_0}\omega = U'_T C_{T_0}\omega\ ; \qquad (11.1)$$

$$I_C = I'_{CS} + I'_{CT} = 2U'_S C_{S_0}\omega \cdot \cos 30^\circ = 3\ U_f C_0 \omega,$$

unde:

$U_f$ este tensiunea pe fază;

$C_0$ — capacitatea unei faze față de pământ.

Valoarea capacității $C_0$ depinde de lungimea tuturor liniilor aeriene și subterane racordate la aceleași bare în stațiile de transformare, respectiv liniile cuplate galvanic.

În momentul apariției punerii la pământ a fazei $R$, în punctul de defect se formează un arc electric, prin care circulă curentul capacitiv rezultant $I_C$ și care se stinge atunci cînd curentul $I_C$ trece prin zero. În funcție de mărimea curentului, arcul se poate reaprinde, după ce curentul a trecut prin zero și în acest fel este posibil ca la trecerile repetate ale curentului $I_C$ din arc prin zero și la reapariția acestuia, arcul să se stingă și să se reaprindă suc-

cesiv, devenind un arc intermitent. Datorită acestui fenomen tensiunile fazelor sănătoase față de pămînt pot crește, depășind valorile tensiunilor între faze, ajungînd la 3—4 $U_f$.

Arcul electric intermitent și supratensiunile corespunzătoare pot să persiste un număr mare de perioade, ceea ce poate avea drept urmare străpungerea izolației fazelor fără defect și în alte puncte unde este mai slabă, conducînd astfel la apariția unui defect polifazat și în acest caz linia respectivă este deconectată de către protecție.

Din cercetările efectuate a rezultat că arcul intermitent apare atunci cînd curentul la locul defectului este cuprins între 5 și 30 A. Pentru valori mai mici decît 5 A arcul se stinge la prima trecere prin zero și nu se mai reaprinde la revenirea tensiunii, iar peste 30 A arcul se reaprinde după fiecare trecere prin zero a curentului. Ținînd seamă de acestea, calculele și măsurările experimentale efectuate au arătat că, în general, rețelele cu neutrul izolat pînă la tensiuni de 35 kV pot funcționa fără pericol de supratensiuni.

Rețelele de cabluri de 6—10 kV pot fi exploatate cu neutrul izolat, cu condiția ca la locul defectului curentul să nu depășească 10 A. La valori mai mari apare pericolul distrugerii izolației și defectul de punere la pămînt poate deveni scurtcircuit bifazat sau trifazat.

În cazul în care curentul capacitiv de punere la pămînt $I_C$ (relația 11.1) depășește valorile admisibile, se pot lua măsuri care în anumite situații să-l reducă sub valorile periculoase, rețeaua rămînînd cu neutrul izolat. O astfel de măsură, care constă în separarea galvanică a liniilor, se poate aplica în stațiile prevăzute cu două transformatoare, făcînd ca fiecare transformator care are neutrul izolat să alimenteze separat un număr de linii a căror lungime să nu conducă la o valoare mare a capacității $C_0$ și respectiv la valori periculoase ale curentului de punere la pămînt.

## B. REȚELE CU NEUTRUL LEGAT LA PĂMÎNT PRINTR-O BOBINĂ DE STINGERE

O altă măsură care se poate lua, îndeosebi atunci cînd nu este posibilă separarea galvanică a liniilor care, de asemenea, face ca arcul care apare la punerea la pămînt să se stingă la prima trecere a curentului prin zero și să nu se mai reaprindă, constă în legarea neutrului transformatorului la pămînt printr-o bobină. Această bobină care favorizează stingerea arcului se numește *bobină de stingere* (fig. 11.3). Situația normală într-o rețea cu neutrul tratat prin bobină de stingere nu se deosebește față de cea cu neutrul izolat (fig. 11.1), deoarece diferența de potențial aplicată bobinei este zero, neutrul transformatorului avînd potențialul pămîntului, respectiv zero.

Atunci cînd apare însă o punere la pămînt a unei faze (fig. 11.3) se constată că prin punctul de defect circulă în acest caz nu numai curentul capacitiv $I_C$ ci și un curent inductiv $I_B$ care se datorește faptului că neutrul transformatorului capătă potențialul fazei și bobinei i se aplică o tensiune egală cu tensiunea, pe fază iar:

$$I_B = \frac{U_f}{X_B} \tag{11.2}$$

unde $X_B$ reprezintă reactanța bobinei prin care se leagă la pămînt neutrul transformatorului.

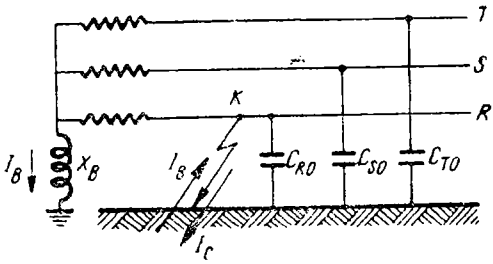



Fig. 11.3. Punerea la pămînt a unei faze cu neutrul tratat prin bobină de stingere.

Acest curent fiind în opoziție de fază cu cel capacitiv conduce la micșorarea curentului rezultant la locul de defect. Se poate alege bobina cu o astfel de reactanță, încît curentul prin punctul de defect să fie zero. Aceasta conduce la egalitatea curentului inductiv cu cel capacitiv:

$$I_B = \frac{U_f}{X_B} = 3U_f C_0 \omega. \quad (11.3)$$

de unde rezultă că pentru anularea curentului de defect trebuie îndeplinită condiția:

$$X_B = \frac{1}{3C_0\omega}, \quad (11.4)$$

cunoscută sub denumirea de *situație de echilibru* sau *de rezonanță*. În acest caz bobina compensează 100% capacitatea față de pămînt $C_0$ a liniilor legate galvanic.

Este necesar însă să se țină seamă la alegerea bobinei de faptul că rețeaua se mai dezvoltă și deci curentul capacitiv crește. Pentru aceasta bobina va trebui să aibă posibilitatea de reglaj, îndeosebi în sensul creșterii reactanței, pentru a se putea compensa curenții capacitivi corespunzători lungimii maxime a rețelei.

În exploatare se recomandă chiar ca bobina să supracompenseze cu circa 5% capacitatea rețelei pentru a se evita existența curentului capacitiv la locul de defect.

Tratarea neutrului cu bobină de stingere elimină posibilitatea reaprinderii arcului electric după stingerea acestuia, la prima trecere prin zero și deci pericolul apariției unor supratensiuni periculoase. Prezintă însă același dezavantaj ca și în cazul neutrului izolat și anume că, în cazul unei puneri la pămînt, tensiunile față de pămînt ale fazelor sănătoase cresc pînă la valoarea tensiunii între faze.

Avantajul important pentru care se utilizează bobinele de stingere constă în faptul că, dacă pe o linie apare o punere la pămînt, protecția acesteia nu o deconectează, ci semnalizează numai punerea la pămînt. Linia funcționează cu defect, fie pînă trece vîrful de sarcină, sau pînă se iau alte măsuri de alimentare a consumatorilor afectați de scoaterea liniei din funcțiune. În țara noastră se folosește tratarea neutrului prin bobină de stingere la rețelele de medie tensiune, inclusiv 35 kV.

Întrucît la aceste trepte de tensiune este posibil ca transformatoarele să aibă conexiunea în triunghi, pentru montarea bobinei, atunci cînd devine necesară, trebuie să se creeze un neutru, pentru aceasta existînd mai multe posibilități.

## C. REȚELE CU NEUTRUL LEGAT DIRECT LA PĂMÎNT

Acest mod de tratare a neutrului se utilizează și la noi în țară ca și în străinătate pentru rețelele cu tensiuni nominale de 110 kV, 220 și 400 kV. Trecerea la legarea directă la pămînt a neutrului la rețelele cu tensiuni superioare (înalte și foarte înalte) se datorește faptului că în cazul menținerii neutrului izolat sau tratat cu bobină de stingere, ca la rețelele de medie tensiune, curenții capacitivi față de pămînt devin mult mai mari și mai greu de compensat, iar supratensiunile care apar prezintă dezavantaje tehnico-economice importante. Un astfel de dezavantaj îl constituie faptul că izolația neutrului transformatorului trebuie realizată pentru a suporta tensiunea pe fază, care se aplică în cazul punerii la pămînt a unei faze.

Prin legarea directă la pămînt a neutrului, printr-o legătură cu rezistență neglijabilă (fig. 11.4) potențialul neutrului nu mai crește, pericolul de supratensiune dispare, iar izolația transformatorului se poate reduce spre punctul neutru. Aceste transformatoare cunoscute și sub numele de transformatoare cu izolație degresivă conduc la economie de material izolant și costă mai puțin. Trebuie însă remarcat faptul că înfășurarea transformatorului, corespunzătoare fazei puse la pămînt (fig. 11.4) este practic scurtcircuitată, de unde rezultă că orice punere la pămînt a unei faze în cazul legării directe la pămînt a neutrului se transformă într-un *scurtcircuit monofazat*. Aceasta înseamnă că dispărînd pericolul de supratensiune, a apărut pericolul unor curenți mari, de scurtcircuit, care solicită elementele rețelei prin care circulă. Acești curenți sînt însă, cu unele excepții mai mici decît cei care apar în cazul unui scurtcircuit trifazat în același punct și pentru care se dimensionează echipamentul electric.

Valorile curenților de scurtcircuit monofazat depășesc însă cu mult valorile normale admisibile pentru elementele rețelei și, pentru a se evita deteriorarea acestora, este necesar ca linia pe care a apărut defectul să fie deconectată într-un timp foarte scurt, ceea ce conduce la întreruperea alimentării consumatorilor.

Ținîndu-se seamă de importanța unei linii de înaltă și foarte înaltă tensiune în alimentarea consumatorilor, se caută să se evite întreruperea totală a alimentării prin deconectarea celor trei faze ale liniei defecte și se deconectează numai faza defectă, linia continuînd să funcționeze în două faze și transportînd o putere mai mică.

Se pune această problemă, deoarece legăturile accidentale ale unei faze la pămînt și respectiv scurtcircuitele monofazate, în cazul legării neutrului direct la pămînt, sînt foarte frecvente și deci deconectările liniei și întreruperile în alimentare ar deveni destul de frecvente.

Întrucît funcționarea liniei în două faze nu se poate admite pentru o durată mai lungă, s-a făcut încă un pas în sensul îmbunătățirii acestei situații. Pentru aceasta s-a avut în vedere faptul că scurtcircuitele monofazate se datoresc, în cea mai mare parte, unor cauze care dispar repede, adică sînt pasagere, cum ar fi păsările care se electrocutează și cad etc.

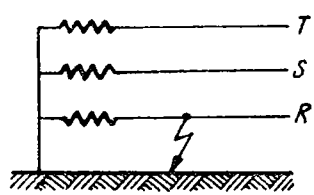


Fig. 11.4. Legarea directă la pămînt a neutrului.

Aceasta face posibil ca faza liniei pe care a apărut defectul, după ce a fost deconectată de la ambele capete de protecţie şi a fost menţinută fără tensiune un timp foarte scurt, dar suficient pentru ca arcul care a apărut la locul de defect să se stingă odată cu dispariţia cauzei, să poată fi reanclanşată.

Acest procedeu este cunoscut sub numele de *reanclanşare automată rapidă* (*RAR*) şi poate fi monofazată (*RARM*), dacă se aplică numai fazei defecte şi trifazată (*RART*), dacă se aplică tuturor fazelor, adică se întrerupe pentru un timp foarte scurt, denumit *pauza RAR*, linia în întregime de la ambele capete, urmînd ca după aceea să fie reanclanşată.

Reanclanşarea automată rapidă mono- sau trifazată este eficientă numai dacă în pauza *RAR* a dispărut cauza şi la reanclanşarea fazei sau a liniei arcul la locul defectului nu se mai reaprinde. În acest caz linia rămîne în funcţiune şi reanclanşarea este reuşită. Dacă însă cauza nu a dispărut, şi pot fi şi astfel de cazuri, dar puţine la număr, atunci la reanclanşare arcul se reaprinde şi defectul reapare. În acest caz protecţia comandă declanşarea trifazată şi definitivă a liniei, iar reanclanşarea se cheamă nereuşită. Reanclanşarea automată rapidă mono- sau trifazată este în prezent folosită pe scară largă şi în ţara noastră, ca şi în străinătate cu rezultate foarte bune.

S-a menţionat mai sus că în cazul scurtcircuitului monofazat curentul la locul defectului este, în general, mai mic decît curentul de scurtcircuit trifazat în acelaşi punct, dar pot apărea şi anumite situaţii în care curentul de scurtcircuit monofazat este egal sau depăşeşte pe cel trifazat. Pentru a se micşora curentul de scurtcircuit monofazat nu este necesar să se lege la pămînt neutrul tuturor transformatoarelor (unele dintre acestea putînd rămîne izolate faţă de pămînt), însă să se prevadă posibilitatea ca şi ele să poată fi legate, dacă va fi necesar mai tîrziu. Pentru aceste transformatoare izolaţia punctului neutru trebuie să nu fie sub 33% din izolaţia fazei, deoarece în situaţia că este dezlegat de la pămînt potenţialul său nu mai este zero.

În ultimul timp, datorită utilizării pe scară tot mai largă a autotransformatoarelor de mare putere care, conform cerinţelor constructorului, trebuie să funcţioneze permanent cu neutrul legat direct la pămînt, limitarea curentului de scurtcircuit monofazat sub cel trifazat devine din ce în ce mai greu de realizat.

Legarea directă la pămînt a neutrului mai prezintă un dezavantaj prin faptul că apariţia curenţilor de scurtcircuit monofazat provoacă perturbări în liniile de telecomunicaţii.

Pentru evitarea situaţiilor periculoase este necesar ca în aceste instalaţii să se ia măsuri speciale de protecţie împotriva perturbărilor produse de liniile de transport de energie electrică din apropiere. O primă măsură, utilizată în ţara noastră o constituie respectarea unor distanţe minime admisibile între cele două categorii de instalaţii.

Capitolul 12

# PRIZE DE PĂMÎNT

## A. LEGAREA LA PĂMÎNT A INSTALAȚIILOR ELECTRICE

În instalațiile electrice se folosesc două categorii de legări la pămînt: de lucru și de protecție.

*Legarea la pămînt de lucru* se execută în vederea asigurării unei funcționări corespunzătoare a instalației în regimuri normale sau de avarie. Astfel de legări la pămînt de lucru sînt: legarea la pămînt a punctului neutru al transformatoarelor, legarea la pămînt a descărcătoarelor, legarea la pămînt a paratrăsnetelor și conductoarelor de protecție etc.

*Legarea la pămînt de protecție* se execută în vederea asigurării personalului de deservire împotriva pericolului de electrocutare la atingerea unor părți din instalație, care în mod normal nu se află sub tensiune. Astfel de legări la pămînt de protecție sînt legarea la pămînt a carcaselor generatoarelor, transformatoarelor, întreruptoarelor și a altor aparate; legarea la pămînt a carcaselor tablourilor de distribuție și de comandă; legarea la pămînt a dispozitivelor de acționare; legarea la pămînt a construcțiilor metalice din instalațiile de distribuție interioare și exterioare; legarea la pămînt a stîlpilor metalici ai liniilor de transport de energie electrică; legarea la pămînt a împrejmuirilor metalice ale părților conductoare de curent etc.

Pentru a se explica rolul legării la pămînt de protecție se va folosi figura 12.1. Presupunîndu-se că generatorul are carcasa izolată, nelegată la pămînt (fig. 12.1, *a*), în urma unui defect de izolație, carcasa va face contact cu una dintre fazele generatorului și va căpăta deci tensiunea fazei respective. Un om care stă cu picioarele pe pămînt și atinge carcasa generatorului va fi supus unei diferențe de potențial, iar prin corpul său va trece un curent electric, determinat de parametrii circuitului care se formează: generator — fazele sănătoase ale liniei — capacități — corpul omului. Este suficient ca acest curent să depășească 50 mA pentru ca viața omului să fie periclitată.

Dacă generatorul are carcasa legată la pămînt, în cazul în care una dintre faze face contact cu carcasa (fig. 12.1, *b*), curentul din pămînt $I_p$ se va ramifica prin rezistența prizei de pămînt $r_p$ și prin rezistența corpului omenesc $r_o$ (fig. 12.1, *c*). Diferența de potențial la bornele celor două rezistențe în paralel $r_p$ și $r_o$ va fi:

$$r_p I'_p = r_o I_o. \tag{12.1}$$

Dat fiind că rezistența $r_p$ a prizei de pămînt poate fi făcută mult mai mică decît rezistența $r_o$ a corpului omenesc, rezultă că valoarea curentului $I_o$ care trece prin corpul omenesc, poate fi limitată sub valoarea periculoasă:

$$I_o = I'_p \frac{r_p}{r_o} \approx I_p \frac{r_p}{r_o} < 50 \text{ mA}. \tag{12.2}$$

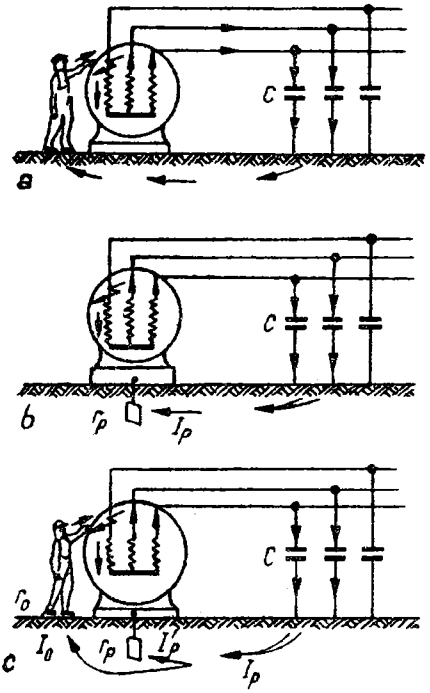



Fig. 12.1. Legarea la pămînt de protecție a carcasei generatorului.

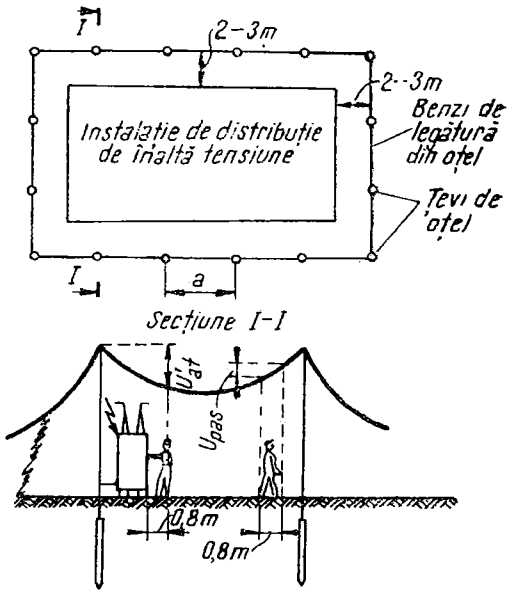



Fig. 12.2. Centura de legare la pămînt a unei stații electrice.

Rezistența corpului omenesc variază în limite largi, de la 800—1 000 Ω pînă la zeci de mii de ohmi, în funcție de starea pielii, de suprafața de atingere cu electrozii, de regiunea corpului omenesc în care s-a făcut atingerea și de o serie de alți factori. În cazul în care atingerea se face în condițiile cele mai dezavantajoase, rezistența corpului este minimă (800—1 000 Ω), iar tensiunea minimă, care poate provoca un curent periculos, este:

$$V_{min} = r_{o\,min}\, I_{o\,min} = (8000 \ldots 1\,000)\ 0{,}05 = (40 \ldots 50)\ \text{V}. \qquad (12.3)$$

Ținîndu-se seamă că îndeplinirea celor mai dezavantajoase condiții este puțin probabilă și poate fi ușor evitată prin luarea unor măsuri tehnice de securitate, se admit ca tensiuni periculoase 125 V pentru instalațiile de joasă tensiune (sub 1 000 V) și 250 V pentru instalațiile de înaltă tensiune (peste 1 000 V).

Legarea la pămînt de protecție în instalațiile de joasă tensiune se realizează adeseori prin legarea la conductorul neutru, care este legat direct la pămînt. În acest caz, contactul dintre o fază a liniei și carcasa unui aparat, legată la conductorul neutru, constituie un scurtcircuit monofazat. Carcasa și conductorul neutru rămîn la un potențial apropiat de potențialul pămîntului și deci atingerea lor nu prezintă pericol.

Legarea la pămînt de protecție în instalațiile de înaltă tensiune se realizează prin legarea la prizele de pămînt, reunite printr-o centură comună de legare la pămînt (fig. 12.2). Prescripțiile stabilesc condițiile pe care trebuie să

le îndeplinească instalația de legare la pământ de protecție pentru a nu se depăși valoarea tensiunii considerate periculoase (250 V). Conform acestor prescripții, rezistența totală a centurii de legare la pământ trebuie să nu depășească 0,5—10 Ω, în funcție de tensiunile nominale din instalație.

Prescripțiile stabilesc, de asemenea, regulile de amplasare a prizelor de pământ, în scopul limitării tensiunii de pas și a tensiunii de atingere, precum și în scopul uniformizării potențialelor la suprafața pământului din jurul prizelor.

## B. TENSIUNEA DE PAS ȘI TENSIUNEA DE ATINGERE

Dacă se consideră că una dintre fazele rețelei cu neutrul izolat (fig. 12.3) face contact cu carcasa întreruptorului, care este legată la pământ printr-o priză tubulară, prin priza tubulară se va scurge în pământ curentul capacitiv de punere la pământ al rețelei. În cazul în care acest curent nu este suficient de mare pentru acționarea protecției prin relee, prin priza tubulară se va scurge curent un timp îndelungat. În jurul prizei, la suprafața pământului, apar potențialele neuniforme, care descresc de la priză spre exterior. Repartiția potențialelor la suprafața pământului din jurul prizei poate fi reprezen-

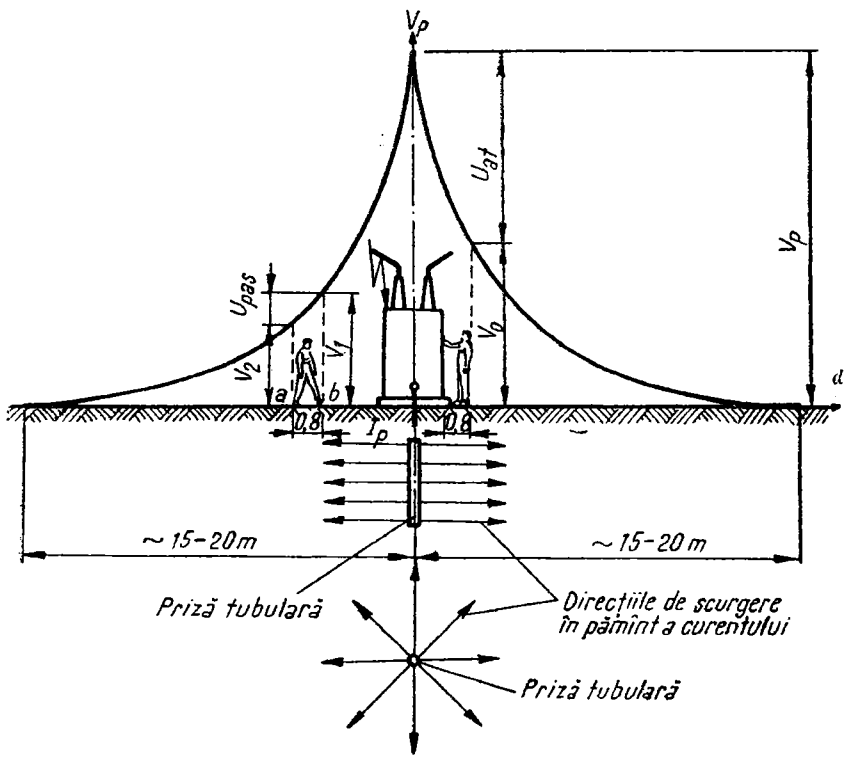



Fig. 12.3. Repartiția potențialelor la suprafața pământului din jurul unei prize tubulare așezate izolat.

tată prin două curbe trasate în axele $V_p$ (potențialul la suprafața pămîntului) și $d$ (distanța pe orizontala de la locul de instalare a prizei). Aceste curbe arată că, la o distanță de aproximativ 15—20 m, potențialul la suprafața pămîntului poate fi considerat egal cu zero, iar în vecinătatea prizei, potențialul are valoarea maximă $V_p$.

Presupunîndu-se că un om păşeşte în zona prizei, călcînd în punctele $a$ și $b$ situate la distanța de aproximativ 0,8 m (un pas), el va fi supus unei diferențe de potențial, care se numeşte *tensiune de pas* :

$$U_{pas} = V_1 - V_2.$$

Este uşor de văzut că tensiunea de pas are valori cu atît mai mari cu cît omul este mai aproape de priza de pămînt.

Se poate presupune că omul situat la distanța de 0,8 m de întreruptor, atinge carcasa acestuia. Dacă se consideră că potențialul la suprafața pămîntului în locul unde este situat omul are valoarea $V_0$, iar potențialul carcasei are valoarea $V_p$, omul va fi supus unei diferențe de potențial, numită *tensiune de atingere* :

$$U_{at} = V_p - V_0.$$

Instalația de legare la pămînt trebuie astfel executată încît tensiunea de pas și tensiunea de atingere să nu depăşească valoarea considerată periculoasă (250 V).

## C. PRIZELE DE PĂMÎNT

Legăturile la pămînt necesare dispozitivelor de protecție se realizează cu ajutorul prizelor de pămînt. Normele din țara noastră stabilesc anumite valori maxime admisibile ale rezistențelor prizelor de pămînt, după cum urmează :

— pentru stîlpii metalici ai liniilor cu conductoare de protecție, 10 Ω ;
— pentru descărcătoarele la liniile de tensiune $U = 20 \ldots 110$ kV, 15 Ω ;
— pentru eclatoarele de protecție la liniile cu tensiunea $U < 20$ kV, 25 Ω.

Cercetările teoretice și experimentale arată că rezistența prizei de pămînt depinde foarte puțin de secțiunea și profilul conductorului utilizat la construcția prizei. Pentru acest motiv, secțiunea prizei se determină ținîndu-se seamă numai de rezistența la coroziune și de comoditatea la montaj. În mod frecvent, la construcția prizelor se utilizează bandă de oțel cu grosimea de 4 mm și secțiunea de 45 și 100 mm² și țeavă cu grosimea pereților de 3,5 mm.

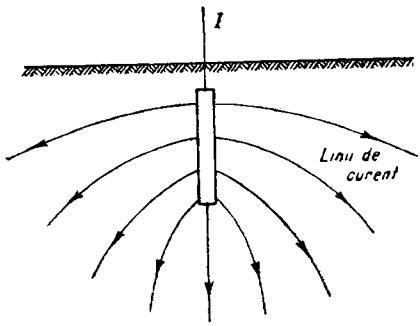


Fig. 12.4. Scurgerea curentului prin priza de pămînt.

Prizele de pămînt pot fi verticale, realizate din țevi bătute în pămînt și orizontale, realizate sub forma unei stele cu mai multe ramuri sau a unui conductor îngropat în pămînt la adîncimea de 0,8 m.

În figura 12.4 este arătată forma liniilor de curent care se repartizează

în pămînt în cazul unor prize verticale. Densitatea de curent este mare în apropierea prizei și scade repede odată cu depărtarea de priză, tinzînd către valoarea zero.

Zona din imediata apropiere a prizei, în care densitatea de curent este mare, determină în cea mai mare măsură rezistența totală a prizei, în timp ce zonele mai îndepărtate, în care densitatea de curent este foarte mică, nu joacă un rol deosebit. Datorită rezistenței mari pe care o întîmpină curentul, în special în vecinătatea prizei, repartiția căderilor de tensiune de-a lungul liniilor de curent din pămînt este neuniformă. Din aceleași cauze, repartiția potențialelor la suprafața pămîntului este, de asemenea, neuniformă.

Dată fiind existența acestor potențiale la suprafața pămîntului din jurul prizelor, este necesar să se ia măsuri pentru limitarea lor la valori nepericuloase pentru oameni.

Caracteristica principală a unei prize de pămînt este rezistența ei $R$ la trecerea curentului alternativ de frecvență industrială. În funcție de rezistența $R$ se poate determina rezistența $R_i$ la trecerea curentului de impuls, conform relației:

$$R_i = a_i R, \tag{12.4}$$

în care $a_i$ este coeficientul de impuls al prizei.

Rezistența $R$ depinde de dimensiunile liniare ale prizei și de rezistivitatea solului.

Coeficientul de impuls $a_i$ are întotdeauna o valoare subunitară, ceea ce arată că rezistența la impuls este mai mică decît la curentul de frecvență industrială. Scăderea rezistenței $R_i$ față de rezistența $R$ se datorește faptului că la scurgerea curentului de impuls, în pămînt apar în lungul firelor de curent diferențe de potențial suficient de mari (peste 1—2 kV/cm), care produc străpungeri locale. Ca urmare a acestor străpungeri, care se extind în sol pînă la o mare adîncime, rezistivitatea solului scade și deci rezistența la impuls $R_i$ se micșorează. Diferențele de potențial din lungul firelor de curent sînt cu atît mai mari, cu cît rezistivitatea solului este mai mare. Prin urmare, străpungerile locale sînt mai frecvente în solurile cu rezistivitate mare și de aceea reducerea rezistenței la impuls se manifestă mai intens în aceste cazuri.

În cazul în care priza de pămînt este formată din mai multe prize elementare reunite, atunci rezistența la impuls a sistemului de prize $R_{sist}$ rezultă din relația:

$$\frac{1}{R_{sist}} = \eta \sum \frac{1}{R_i}, \tag{12.5}$$

în care:

$R_i$ este rezistența la impuls a unei prize;

$\eta$ — coeficientul de utilizare al prizei complexe.

Coeficientul de utilizare al prizei complexe este întotdeauna mai mic decît unitatea. Aceasta arată că rezistența unei prize complexe este mai mare decît rezistența echivalentă a tuturor prizelor legate în paralel. Factorul care contribuie la înrăutățirea utilizării prizelor de pămînt este acțiunea reciprocă dintre diferitele elemente ale unei prize complexe. În figura 12.5 este reprezentată o priză complexă formată din trei prize tubulare așezate vertical. Se constată că firele de curent se ecranează reciproc și ca urmare rezistența prizei complexe crește.

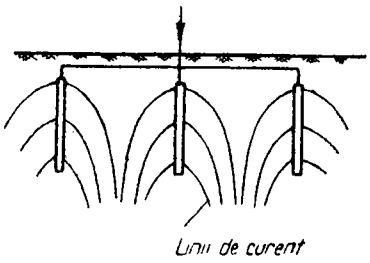



Fig. 12.5. Ecranarea reciprocă a elementelor unei prize complexe.

Cu timpul priza de legare la pămînt se degradează prin coroziune în sensul creşterii sensibile a rezistenţei sale electrice. Implicit, rezultă o creştere a valorilor tensiunilor de atingere de pas proporţionale cu valoarea rezistenţei prizei.

Se impune efectuarea de măsurări periodice a rezistenţei prizei şi a rezistenţei solului.

Verificarea prizelor staţiilor electrice de înaltă tensiune se face o dată la cinci ani, iar a celor din incinta centralei cel puţin o dată pe an. Verificările se fac în special iarna cînd solul este îngheţat sau vara cînd el este uscat.

O serie de metode permit determinarea rezistenţei electrice a prizei, a conductoarelor de legare la priză, a rezistivităţii prizei, a coeficienţilor de atingere şi de pas cu precizia dorită.

În ţara noastră exploatarea centralelor şi staţiilor electrice foloseşte pe scară largă metoda ampermetrului şi voltmetrului (aparatul tip M58).

Elementele corodate ale prizei care nu mai corespunde sînt înlocuite cu ocazia acestor verificări periodice profilactice. Se măsoară din nou valorile rezistenţei prizei, rezistivităţii solului etc. care trebuie să corespundă valorilor din proiectul instalaţiei de legare la pămînt.

Capitolul 13

# SUPRATENSIUNI ÎN INSTALAȚIILE ELECTROENERGETICE

În perioadele de funcționare de durată normală instalațiile electroenergetice sînt supuse, fiecare funcție de specificul său, tensiunilor nominale sau de serviciu și variațiilor acestora care pot apărea datorită variației în timp a puterilor absorbite de consumatori, precum și modului de reglare a tensiunii la diferite trepte ale acesteia.

Izolația instalațiilor este astfel dimensionată încît să suporte permanent și fără să se deterioreze, solicitările datorită tensiunilor de serviciu și a variațiilor mai sus menționate ale acestora.

În funcționarea instalațiilor electroenergetice intervin însă anumite situații în care apar, pentru durate scurte sau chiar foarte scurte de timp, creșteri foarte mari ale tensiunilor de serviciu, care sînt denumite supratensiuni. Acestea pot periclita izolația instalațiilor deteriorînd-o și creînd astfel posibilitatea apariției de defecte cu consecințe în alimentarea consumatorilor.

Aceste supratensiuni se datoresc, fie unor cauze din afara instalațiilor electrice numite supratensiuni *externe* sau *atmosferice*, legate de situații speciale apărute în atmosferă în zonele în care sînt realizate instalațiile respective, fie unor cauze care aparțin instalațiilor înseși, numite supratensiuni *interne*, care apar datorită unor manevre în rețele, scurtcircuitelor etc.

## A. SUPRATENSIUNI ATMOSFERICE

Aceste supratensiuni se datoresc, în general, producerii trăsnetelor în atmosferă și anume fie loviturii directe, cînd trăsnetul cade pe conductoarele active, de protecție sau asupra altor elemente componente ale instalațiilor electrice, fie loviturii indirecte, atunci cînd trăsnetul cade în apropierea instalațiilor electrice.

Trăsnetul atmosferic este o descărcare electrică produsă între un nor încărcat cu sarcini electrice și pămînt. Un astfel de nor are acumulate la baza sa sarcini electrice negative, care creează în spațiul dintre nor și pămînt un cîmp electric intens. Cînd intensitatea cîmpului electric depășește o anumită valoare limită se străpunge spațiul dintre nor și pămînt și apare trăsnetul.

Producerea trăsnetului are loc în două stadii principale, și anume: *descărcarea sub formă de lider* și *descărcarea principală*.

În stadiul descărcării sub formă de lider, de la nor spre pămînt avansează, în trepte, un canal ionizat. Stadiul următor, al descărcării principale, începe cînd liderul a ajuns la pămînt şi se caracterizează printr-o ionizare puternică şi luminescentă a canalului. Sarcinile negative din canal se scurg spre pămînt, iar în canal rămîn numai sarcini pozitive.

Valoarea maximă a curentului de trăsnet are loc în stadiul descărcării principale şi descreşte rapid spre zero. Propriu-zis, trăsnetul este o descărcare multiplă. Aceasta rezultă din faptul că după primul lider în trepte şi după prima descărcare principală, prin acelaşi canal se dezvoltă un nou lider şi o nouă descărcare principală. Astfel de descărcări se repetă de 3—4 ori.

Efectele trăsnetului asupra instalaţiilor electrice se manifestă atît în ceea ce priveşte supratensiunile, cît şi sub aspectul termic (al încălzirii) şi electrodinamic (al solicitărilor mecanice), datorite valorilor foarte mari ale curentului trăsnetului.

Pentru a se putea lua măsurile corespunzătoare de protecţie este necesar să se cunoască parametrii electrici ai trăsnetului şi în acest sens s-au făcut şi se fac multe cercetări asupra curentului trăsnetului. Mărimile caracteristice ale acestuia sînt : *valoarea maximă, forma undei* şi *polaritatea* ei.

Este necesar să se precizeze faptul că, întrucît trăsnetele se produc în condiţii, în general, similare, independent de tensiunea nominală şi caracteristicile instalaţiilor electrice care pot fi afectate, efectele lor şi consecinţele care pot apărea se reduc pe măsură ce tensiunea nominală a instalaţiilor creşte. Aceasta deoarece fenomenele care apar în astfel de instalaţii, mai ales cele de tensiuni înalte şi foarte înalte, datorită unor cauze interne şi care conduc, de asemenea, la supratensiuni ajung să echivaleze situaţiile care apar datorită trăsnetelor.

## B. SUPRATENSIUNI INTERNE

Supratensiunile de origină internă pot apărea ca urmare a executării unor manevre, care se execută normal în reţelele electrice, pentru conectarea şi deconectarea maşinilor, transformatoarelor sau a liniilor de transport, precum şi în cazul unor defecte care pot apărea în reţele, cum sînt scurtcircuitele sau punerea la pămînt a unei faze. De asemenea, supratensiunile interne pot însoţi şi fenomenele de rezonanţă, atît pe frecvenţa fundamentală, corespunzătoare frecvenţei de 50 Hz, cît şi pe frecvenţe corespunzătoare armonicelor de ordin superior.

Din punctul de vedere al alegerii nivelului de izolaţie, o importanţă deosebită au supratensiunile interne de scurtă durată, care pot fi determinate de deconectarea circuitelor cu inductanţă, de deconectarea bateriilor de condensatoare şi a liniilor în gol, supratensiunile de rezonanţă şi cele care apar în cazul punerii la pămînt a unei faze într-o reţea cu neutrul izolat.

*Supratensiunile determinate de deconectarea circuitelor cu inductanţă,* în cazul întreruperii bruşte a curentului, cînd se eliberează energia magnetică înmagazinată în cîmpul magnetic al inductanţei şi care, din cauză că în apro-

piere nu există capacități care să preia această energie, provoacă supratensiuni. În acest sens este caracteristică deconectarea transformatoarelor care funcționează în gol, a căror capacitate proprie este foarte mică în raport cu inductanța și care poate conduce la supratensiuni foarte importante. În general, supratensiunile sînt cu atît mai mici cu cît tensiunea nominală a bobinei deconectate este mai mare. Astfel în rețelele cu tensiunea nominală de 6—35 kV cu neutrul izolat, supratensiunile pot atinge 5—7 $U_f$, iar la 110 kV unde neutrul este legat direct la pămînt aceste supratensiuni pot atinge valori maxime de 3,5—4 $U_f$, dar în majoritatea cazurilor nu depășește 3 $U_f$.

Durata unor astfel de supratensiuni nu depășește cîteva fracțiuni de semiperioadă deoarece, după deconectare, oscilațiile se amortizează repede.

Supratensiuni mari pot apărea și în instalațiile cu redresoare cu mercur, cînd curenții mari, de ordinul sutelor de amperi sînt întrerupți brusc, datorită dispariției conductibilității electrice dintre anod și catod, provocînd supratensiuni în înfășurările transformatoarelor.

Din această categorie fac parte și supratensiunile provocate de funcționarea siguranțelor fuzibile instalate pentru limitarea curentului și care pot fi limitate la valoarea 3,5 $U_f$ prin construirea unor siguranțe fuzibile cu secțiunea în trepte.

*Supratensiunile determinate de deconectarea bateriilor de condensatoare și a liniilor în gol* conduc la apariția fenomenelor similare celor care apar la deconectarea unor capacități și care pot conduce teoretic, în urma unor stingeri și reaprinderi repetate ale arcului, la supratensiuni de 3 $U_{max}$ și mai mari. În realitate posibilitățile de reaprindere repetată a arcului și creșterea supratensiunilor sînt limitate, datorită întreruptoarelor moderne cu aer comprimat și cu acțiune rapidă care, fie nu permit nici o reaprindere sau în cel mai rău caz, admit una singură, aceasta avînd drept urmare faptul că nu apar supratensiuni sau, dacă totuși apar, nu depășesc valoarea 2,5 $U_f$.

Se menționează însă faptul că aceste supratensiuni la deconectarea în gol a liniilor cu tensiuni nominale pînă la 35 kV inclusiv, nu au o importanță practică din punctul de vedere al nivelului de izolație.

*Supratensiunile de rezonanță* care pot apărea în instalațiile cu tensiuni nominale foarte înalte (peste 220 kV) a căror izolație din motive economice nu poate fi prevăzută pentru tensiuni mai mari ca 3—3,5 $U_f$ prezintă un interes practic deosebit. Aceste linii sînt prevăzute cu compensare transversală și în țara noastră, prin montarea unor bobine între conductoarele liniei și pămînt și în unele cazuri, la linii foarte lungi și cu compensare longitudinală prin montarea unor baterii de condensatoare în serie, pentru a micșora inductanța acestor linii. Dacă se întîmplă ca acestor instalații și îndeosebi bobinelor și transformatoarelor de la capetele acestor linii să li se aplice tensiuni mai ridicate, în cazul funcționării în gol sau al deconectării bruște a sarcinii, aceasta conduce la saturația miezurilor. Consecința este apariția armonicelor pare și impare care pot provoca prin rezonanță supratensiuni mari în elementele instalației.

Se precizează că fenomenul corona, care se accentuează odată cu creșterea tensiunii în instalațiile electrice și în mod deosebit la apariția supratensiunilor, conduce la micșorarea acestora, avînd deci un efect favorabil.

*Supratensiunile care apar în cazul punerii la pămînt a unei faze într-o rețea cu neutrul izolat* sînt tot supratensiuni interne, dar nu de scurtă durată ca

cele examinate mai sus, ci de durată mai lungă. În capitolul 11, în care s-a analizat tratarea neutrului și fenomenele care apar, s-a menționat faptul că prin stingerea și reaprinderea arcului electric ce se formează la locul defectului, pot apărea supratensiuni a căror valoare limită poate fi 3—4 $U_f$.

## C. PROTECȚIA ÎMPOTRIVA SUPRATENSIUNILOR ATMOSFERICE

Ținîndu-se seamă de tensiunea nominală a liniilor și de importanța acestora se pot prevedea anumite măsuri în vederea protejării liniilor împotriva supratensiunilor atmosferice. Astfel, liniile de 110 kV, 220 și 400 kV pe stîlpi metalici se protejează cu conductoare de protecție, pe cînd liniile pe stîlpi de lemn, în general, nu sînt prevăzute cu acest mijloc de protecție.

Descărcătoarele tubulare pot fi utilizate pentru protecția unor anumite sectoare ale liniilor cu izolația slăbită și anume : la intrări în stații, la intersecții etc., respectiv acolo unde se utilizează stîlpi metalici.

**Utilizarea paratrăsnetelor și a conductoarelor de protecție.** *Paratrăsnetul* se instalează în scopul de a prelua asupra sa descărcarea sub formă de trăsnet, protejînd astfel instalația. Se execută în formă de tijă, pentru protecția instalațiilor concentrate (de exemplu stațiile de transformare) sau sub formă de conductoare pentru protecția liniilor aeriene.

Paratrăsnetul trebuie să fie legat la pămînt printr-o rezistență cît mai mică realizată prin intermediul prizei de pămînt.

Zona de protecția a unui paratrăsnet tijă, realizat din bare metalice, are forma unui con a cărui rază $r_x$ la înălțimea $h_x$ (fig. 13.1) se determină cu relația :

$$r_x = h_a \frac{1{,}6\ p}{1 + \frac{h_x}{h}}, \qquad (13.1)$$

în care :

$h$ este înălțimea paratrăsnetului față de pămînt ;

$h_a$ — supraînălțarea paratrăsnetului sau înălțimea activă, $h_a = h - h_x$ ;

$p = 1$ — pentru paratrăsnetele de înălțime $h < 30$ m ;

$p = \frac{5{,}5}{h}$ — pentru paratrăsnetele de înălțime $h > 30$ m.

Instalațiile care se găsesc în zona de protecție sînt protejate împotriva loviturilor directe de trăsnet, acestea fiind preluate de către paratrăsnet.

Pentru mărirea zonelor de protecție paratrăsnetele tijă se instalează pe părțile mai înalte ale stațiilor de transformare, ale instalațiilor exterioare de distribuție și ale centralelor electrice. Numărul paratrăsnetelor tijă, locul instalării, precum și dimensiunile lor se stabilesc ținîndu-se seamă de instalațiile și clădirile ce trebuie protejate.

Paratrăsnetele se leagă la pămînt fie printr-o priză de pămînt separată, fie prin centura comună de legare la pămînt a instalațiilor.

*Conductoarele de protecție.* Zona de protecție a acestora se determină fie cu relația (13.1), fie prin considerente mai simple, admițîndu-se că este delimitată în părțile laterale de două plane înclinate fiecare cu cîte 30° față de planul vertical care trece prin conductorul de protecție.

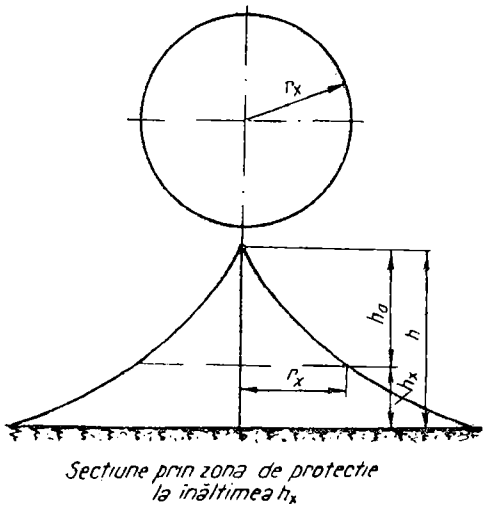



Fig. 13.1. Zona de protecție a unui paratrăsnet tijă.

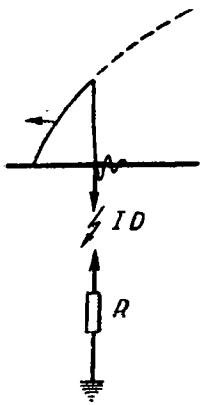



Fig. 13.2. Principiul conectării și funcționării unui descărcător.

Legarea la pămînt a conductoarelor de protecție se face, fie direct la priza de pămînt, fie prin intermediul eclatoarelor, dacă conductoarele de protecție se mai folosesc și pentru alte scopuri (telecomunicații, protecția prin relee). Cînd linia se găsește sub influența norilor în conductoarele de protecție se induc sarcini electrice, care le ridică potențialul și ca urmare eclatoarele de pe legăturile la pămînt se străpung și în acest fel canalul de trăsnet, care se orientează către linie, găsește conductoarele de protecție legate la pămînt.

**Utilizarea descărcătoarelor.** Descărcătoarele au rolul de a limita supratensiunile din instalațiile electrice și se montează între conductoarele active și pămînt, adică în paralel cu izolația care trebuie protejată.

Elementul de bază al descărcătoarelor este *intervalul de descărcare ID* (fig. 13.2). Ajungînd în dreptul descărcătorului, unda de supratensiune face să se străpungă, la un moment dat, intervalul *ID*. Prin canalul conductor al arcului, sarcinile electrice se scurg la pămînt, iar supratensiunea se limitează brusc. Este necesar ca străpungerea intervalului *ID* să se producă înainte ca supratensiunea să devină periculoasă pentru izolație.

Arcul electric care apare datorită supratensiunii trebuie să nu devină permanent adică, după limitarea supratensiunii, să nu persiste în continuare datorită tensiunii normale, de frecvență industrială a rețelei și respectiv să fie parcurs de un curent rezidual de 50 Hz. Din punctul de vedere al modului în care se stinge arcul rezidual, se cunosc trei tipuri de descărcătoare și anume : *eclatorul de protecție, descărcătorul tubular* și *descărcătorul cu rezistență variabilă.*

Montarea acestor dispozitive, a căror structură și mod de funcționare sînt descrise în capitolul 14, se face pe stîlpii liniilor electrice aeriene, în anumite puncte (stîlpi de traversare, stîlpi mai înalți decît cei de pe restul liniei

respective, stîlpi de rotire a fazelor etc.), la barele staţiilor de transformare la posturile de transformare, pe neutrul unor transformatoare etc. respectîndu-se prevederile instrucţiunilor în vigoare pentru protecţia instalaţiilor electrice împotriva supratensiunilor.

## D. PROTECŢIA ÎMPOTRIVA SUPRATENSIUNILOR INTERNE

O serie de referiri la măsurile de protecţie împotriva supratensiunilor interne s-au făcut şi mai sus la punctul B prin precizările privind posibilităţile de micşorare a acestor supratensiuni. În continuare se vor mai da o serie de completări în acest sens.

Astfel pot fi folosite şi pentru protecţia împotriva supratensiunilor interne *descărcătoarele cu rezistenţă variabilă* şi îndeosebi cele *cu suflaj magnetic.*

Pentru reducerea supratensiunilor de comutaţie, în cazul liniilor lungi de tensiuni foarte înalte, se pot instala *bobine de reactanţă* conectate, fie direct la linie, fie pe terţiarele autotransformatoarelor în vederea compensării capacităţii acestor linii şi care sînt eficiente îndeosebi în regimurile de funcţionare descărcată sau în cazul conectării liniilor respective la sistem.

Un rol important la reducerea supratensiunilor interne pînă la 1,2 $U_f$ îl au *întreruptoarele moderne, rapide cu aer comprimat,* care nu permit reaprinderile repetate ale arcului electric.

În cazul supratensiunilor care pot apărea la punerea la pămînt a unei faze un efect de limitare a acestora îl au *bobinele de stingere,* care se montează pe neutrul transformatoarelor pentru compensarea curenţilor capacitivi.

## E. EXPLOATAREA ŞI ÎNTREŢINEREA DISPOZITIVELOR DE PROTECŢIE ÎMPOTRIVA SUPRATENSIUNILOR

În ceea ce priveşte conductoarele de protecţie, exploatarea şi întreţinerea acestora se încadrează în acţiunile pe care le întreprinde personalul de exploatare pentru liniile electrice aeriene în acest sens.

Astfel, observarea stării lor şi intervenţiilor necesare remedierii unor eventuale defecţiuni se fac cu ocazia controalelor periodice, a reviziilor şi a reparaţiilor liniilor, aşa cum se menţionează în capitolul 3.

Descărcătoarele tubulare se controlează periodic (la un an) pe stîlp şi se demontează aducîndu-se în atelier pentru revizie şi eventuale reparaţii cel puţin o dată la trei ani. O revizie cu demontare se mai face după 3—4 funcţionări ale descărcătorului.

La fel se controlează şi se verifică descărcătoarele cu rezistenţă variabilă, reglîndu-se cel puţin o dată la trei ani şi distanţele dintre electrozi.

Este necesar ca personalul de exploatare să ţină o evidenţă strictă a numărului şi locului unde sînt montate dispozitivele de protecţie contra supratensiunilor precum şi a numărului de funcţionări ale acestora.

Capitolul 14

# APARATAJUL ELECTRIC DIN CENTRALE ŞI STAŢII

Instalaţiile electrice de înaltă tensiune din centrale şi staţii necesită adesori închiderea şi deschiderea circuitelor, care se execută fie pentru anumite manevre din exploatare, fie ca urmare a producerii unor suprasarcini, a unor scurtcircuite sau a unor supratensiuni periculoase. Aceste operaţii se realizează cu ajutorul aparatelor electrice (întreruptoare, separatoare, siguranţe, descărcătoare, bobine de reactanţă şi transformatoare de măsură), care asigură protecţia împotriva unor regimuri anormale de funcţionare şi uneori, limitează anumiţi parametri ai circuitelor.

Din analiza schemei monofilare a instalaţiei electrice reprezentată în figura 14.1 reiese rolul şi importanţa fiecărui aparat, din cele conectate între generatoarele $G$, transformatoarele de putere, ridicătoare $T$ şi liniile de energie electrică $L$.

Întreruptoarele $I_1$, $I_2$, $I_3$, $I_4$ efectuează toate conectările, deconectările şi comutările necesare pentru regimul normal de funcţionare. Cu ajutorul lor se efectuează conectarea şi deconectarea generatoarelor, transformatoarelor şi liniilor de la barele colectoare ale instalaţiei de distribuţie, trecerea sarcinilor de pe un sistem de bare pe celălalt şi alte operaţii. În afară de aceasta, atunci cînd apare o avarie în circuit şi, mai ales, în caz de scurtcircuit, întreruptoarele efectuează deconectarea automată rapidă a porţiunii avariate a circuitului. De exemplu, întreruptorul care leagă două secţii ale sistemului barelor de lucru, separă rapid secţiile barelor în caz de scurtcircuit la una dintre ele, cealaltă secţie rămînînd astfel în funcţiune.

Separatoarele $S_1$, $S_2$, $S_3$, $S_4$ se află sub tensiunea porţiunii circuitului electric şi izolează de reţea un aparat sau o parte din instalaţie. Deschiderea separatorului se face totdeauna după deschiderea întreruptorului corespunzător. De exemplu, la revizia sau repararea întreruptoarelor $I_3$ sau $I_4$, mai întîi se deschide întreruptorul şi apoi separatoarele de pe ambele părţi ale sistemului de bare de 110 şi 220 kV.

Descărcătoarele tubulare şi cele cu rezistenţă variabilă, $DT$ şi $DRV$, siguranţele $S_g$, bobinele de reactanţă (reactoarele) $R$, transformatoarele de curent şi de tensiune, $TC$ şi $TT$, sînt necesare în instalaţie, deoarece cu ajutorul lor se efectuează protecţia împotriva supratensiunilor şi a curenţilor de scurtcircuit, alimentarea protecţiei prin relee şi a aparatelor de măsurat etc.

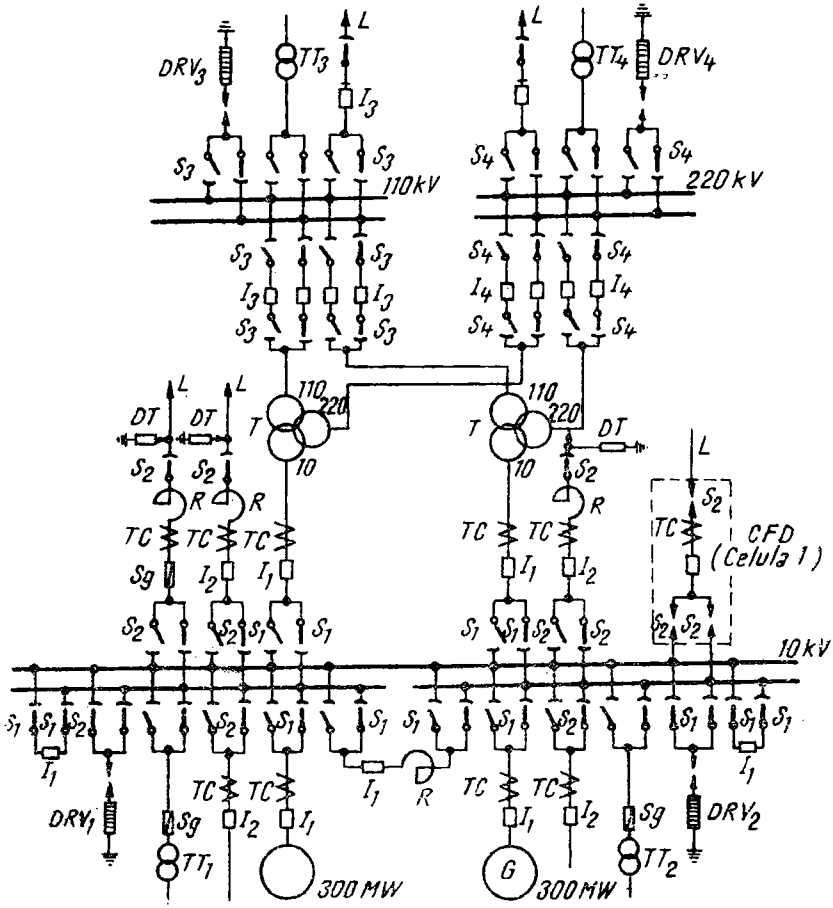



Fig. 14.1. Schema monofilară a unei instalații de înaltă tensiune.

În funcție de destinația aparatelor electrice ele vor fi grupate și tratate după cum urmează:

aparate de comutație — întreruptoarele și separatoarele;

aparate de protecție — siguranțele și descărcătoarele;

aparate limitatoare de curent — bobinele de reactanță;

aparate pentru alimentarea circuitelor de măsurare și de protecție — transformatoarele de curent și de tensiune.

Indiferent de tipul lor, aparatele electrice se caracterizează prin anumiți parametri, reprezentați de tensiunile nominale și de curenții nominali pentru care sînt construite.

*Tensiunea nominală a unui aparat* $U_n$ reprezintă valoarea cea mai mare a tensiunii rețelei în care acesta este destinat a funcționa.

*Curentul nominal (de durată) al aparatului* $I_n$ este curentul care poate trece prin el un timp nelimitat, fără ca încălzirea diferitelor părți ale aparatului să

depășească limitele admise de norme. Valorile nominale ale acestuia sînt înscrise pe plăcuțele indicatoare și pe etichetele aparatelor. Ele trebuie respectate deoarece numai la solicitările nominale, aparatul oferă garanția unei îndelungate funcționări corecte.

## A. APARATE ELECTRICE DE COMUTAȚIE

Din această grupă de aparate vor fi descrise întreruptoarele și separatoarele electrice folosite în instalațiile electroenergetice. Ele sînt construite pentru a funcționa fie în încăperi închise, în cadrul instalațiilor interioare, fie în aer liber, în cadrul instalațiilor exterioare și a liniilor de transport de energie. Pentru înțelegerea principiilor de funcționare ale acestora, se va insista mai întîi asupra unor elemente generale privind contactele de întrerupere și posibilitățile de stingere a arcului electric în aparatele de comutație.

### 1. Contactele aparatelor electrice de comutație

Contactul electric reprezintă locul de atingere dintre două piese conductoare prin care trece curentul de la un conductor la altul. În înțelesul mai larg al noțiunii, se pot considera contacte piesele care se ating și care realizează închiderea sau deschiderea unui circuit electric. În acest caz, contactele electrice pot reprezenta fie *piese fixe (contacte principale)*, îmbinate prin nituri sau șuruburi, fie *piese deplasabile (contacte de rupere)* care întrerup sau stabilesc curenți în circuite electrice.

Caracteristica principală a unui contact electric este *rezistența sa de trecere* sau *rezistența de contact*. La cercetarea naturii rezistenței de trecere se examinează, de obicei, zona de trecere între suprafețele de contact care vin în atingere. Din acest punct de vedere, s-a stabilit că contactul electric nu se realizează prin atingerea totală a celor două suprafețe de contact (suprafețe aparente de contact), ci prin contactul în mai multe puncte separate, determinat de neregularitățile (asperitățile) suprafețelor de contact.

Pentru creșterea suprafeței de contact este necesară o forță de o anumită valoare, care să preseze aceste suprafețe. Astfel, prin strivirea materialului apar puncte suplimentare de contact, care determină o creștere a suprafețelor de contact. În punctele de contact ale suprafețelor conductoare și în zonele imediat apropiate de aceste puncte, curentul electric trece prin porțiuni cu secțiuni foarte înguste, care prezintă o rezistență mare și care conduc, în același timp, la creșterea locală a densităților de curent și la încălziri locale.

Din punct de vedere constructiv, contactele aparatelor de comutație trebuie să îndeplinească unele condiții strîns legate de efectele termice și electrodinamice ale curentului electric. Astfel, ele trebuie să nu se încălzească excesiv, să nu se topească și să nu se lipească la trecerea curentului, să reziste la arcul electric și să suporte în exploatare un număr determinat de conectări și deconectări, în regim normal sau în regim de scurtcircuit, fără să se deterioreze etc.

Corespunzător acestor condiții, în practică s-au realizat pentru aparatele de comutație următoarele forme de contacte: frontale, tip deget, tulipă, lamelare, alunecătoare și mai rar se folosesc contactele tip perie.

*Contactele frontale* se utilizează la majoritatea construcţiilor întreruptoarelor rapide moderne cu curenţi nominali pînă la 2 000 A, atît ca contacte principale, cît şi ca contacte de rupere. Ele reprezintă atingerea pe suprafeţe frontale de contact, care au forma plan-plan, emisferă-plan etc., presiunea necesară fiind creată de resorturi. Deschiderea contactelor este asigurată printr-o cursă mică a elementelor mobile şi ca urmare, se desfăşoară rapid.

În figura 14.2, sînt reprezentate contactele frontale utilizate în construcţia întreruptoarelor cu ulei şi cu aer comprimat.

În varianta *a* utilizată la întreruptoare cu ulei, vîrful de contact *1* este înşurubat pe corpul de alamă *2*, care este unit cu capul *3* al camerei de stingere a arcului prin tija de ghidare *4*. Patru legături flexibile *5* asigură o oarecare deplasare a contactului *1* şi realizează legătura lui şi a corpului *2* cu părţile conductoare fixe — corpul camerei *3*. Resortul *6* realizează o anumită presiune de contact, fiind izolat de părţile conductoare printr-un capac din material plastic 7. Contactul mobil *8* se confecţionează sub formă de tijă plină sau de tub. În ultimul caz, se creează o mişcare (scurgere) a uleiului prin contactul mobil, cînd arcul electric arde între contacte.

Pentru contactele plane, numărul punctelor de atingere este mic şi, de aceea, la trecerea unor curenţi mari apar forţe electrodinamice importante, care tind să respingă contactele unul faţă de celălalt. Pentru a asigura stabilitatea electrodinamică a contactelor frontale la curenţii de scurtcircuit se creează presiuni de contact mari, iar într-o serie de cazuri se folosesc aşa-numitele *zăvoare electromagnetice* sau *broaşte magnetice*.

În varianta *b* este reprezentată schematic construcţia unui contact frontal cu zăvor electromagnetic. În acest caz, deasupra contactului *1* este montată placa conductoare *2*, fixată pe portcontactul fix *3*. Legătura dintre contactul *1* şi placa *2* este realizată printr-un element flexibil *4*, iar presiunea de contact este asigurată de resortul *5*. Vîrful contactului mobil *6* se aşază pe tija întreruptorului.

La trecerea curentului de scurtcircuit, forţele electrodinamice care apar pe lungimea porţiunilor contactului *1* şi a elementului *4* tind să apese con-

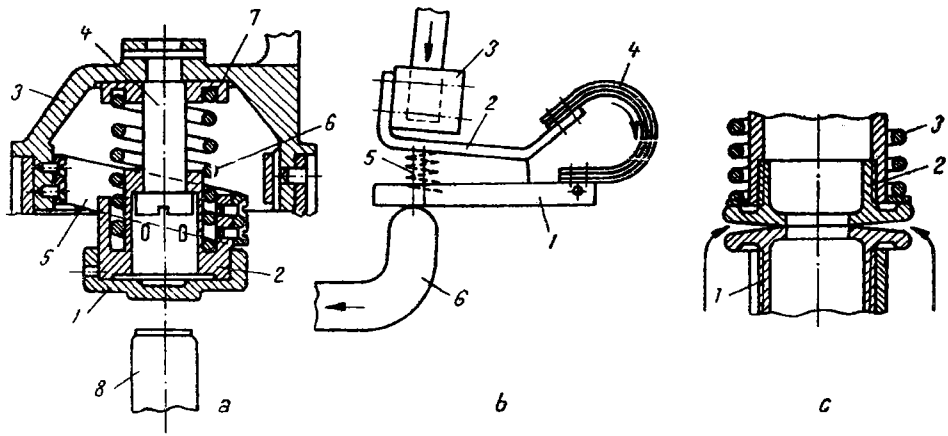



Fig. 14.2. Contacte frontale ale întreruptoarelor :
*a, b* — pentru întreruptoare cu ulei ; *c* — pentru întreruptoare cu aer comprimat.

tactul de vîrful *6* al tijei şi acţionează în acelaşi sens cu forţa de apăsare a resortului contactului, mărind această apăsare ; în acelaşi timp, acestea sînt orientate în sens opus forţelor electrodinamice de respingere care apar la locul de atingere a contactelor şi care tind să slăbească presiunea pe contact. Astfel de contacte frontale se folosesc la întreruptoarele cu ulei cu cuvă.

În varianta *c* este reprezentat un tip de contact frontal utilizat în construcţia întreruptoarelor cu aer comprimat. Contactele *1* şi *2* sînt confecţionate unul cu interiorul gol, iar celălalt plin, pentru funcţionarea dispozitivului de stingere a arcului neavînd importanţă care dintre contacte este mobil. Deoarece stingerea arcului care apare între contacte este realizată cu ajutorul aerului comprimat, contactelor li se dă o formă favorabilă scurgerii aerodinamice pentru înlăturarea turbioanelor de aer, cînd acesta ajunge la contact (v. săgeţile) şi pentru asigurarea mişcării necesare a acestuia între contacte la deschidere. Forma rotunjită a contactelor mai favorizează şi creşterea rigidităţii dielectrice a spaţiului dintre contacte în poziţia deschisă a întreruptorului. Arcul electric care apare la deconectarea contactelor, sub acţiunea aerului comprimat, este suflat de pe suprafaţa frontală a contactului cu interiorul gol spre suprafaţa lui interioară, nefolosită în mod normal, iar pe contactul plin se deplasează dinspre suprafaţa de lucru spre centru. Ca urmare, suprafeţele de lucru nu sînt supuse la o ardere intensă.

Presiunea pe contacte se realizează cu ajutorul resortului 3, care se montează la contactul mobil, în exteriorul acestuia (la alte tipuri se montează în interior). După atingerea contactelor are loc o deplasare comună a acestora (cursă comună) şi, de aceea, contactul fix se leagă cu corpul camerei prin legături flexibile sau prin contacte alunecătoare.

*Contactele lamelare* şi *tip deget* sînt confecţionate sub formă de grup de lamele (plăci metalice) sau degete (cleme dreptunghiulare îndoite sub un anumit unghi) pe care, datorită resorturilor, sînt apăsate elemente mobile sub formă de cuţit, lamele etc. Ele se utilizează mai ales la întreruptoarele construite pentru curenţi nominali mari.

În figura 14.3 sînt reprezentate cîteva variante constructive de contacte lamelare şi tip deget.

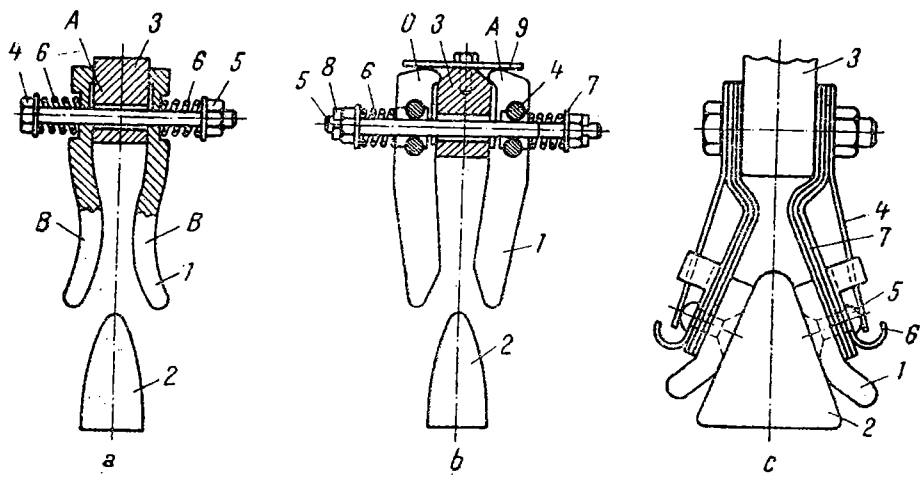



Fig. 14.3. Contacte cu lamele şi tip deget :
*a, b* — contacte cu lamele ; *c* — contacte tip deget cu autoghidare.

Varianta *a* reprezintă un contact lamelar folosit ca contact principal la întreruptoarele cu ulei. Contactul este compus dintr-o grupă de perechi de lamele *1* și cuțitul mobil *2* sub formă de placă teșită. Numărul perechilor de lamele în paralel este determinat de curentul nominal al întreruptorului. Fiecare pereche de lamele este fixată pe un suport conductor *3*, cu un știft *4* și o piuliță *5*. Știftul constituie, în același timp, și suport de ghidaj pentru resortul de contact *6*, care asigură cînd contactele sînt închise presiunea lamelelor pe cuțit și pe suportul conductor *3*.

Fiecare lamelă realizează contact atît cu partea conductoare în punctul *A* (datorită unei proeminențe deasupra lamelei, în partea superioară a acesteia), cît și cu cuțitul, în două puncte *B*. La închiderea și deschiderea contactelor se realizează o autocurățire a lor, datorită frecării prin alunecare numai în punctul *B*; în punctul *A*, unde proeminența lamelei alunecă puțin pe partea conductoare, acest lucru nu este realizat, ceea ce constituie un dezavantaj.

Varianta *b* elimină acest dezavantaj și simplifică, în același timp, forma și construcția lamelelor. La partea superioară lamelele *1* au o proeminență pentru care sînt practicate crestături în suportul conductor de curent *3*. Fiecare pereche de lamele este așezată pe muchie, cu o distanță mică între lamele, reglabilă cu ajutorul șaibei *4*. Știftul *5*, care fixează lamelele, are la capete resorturile de contact *6*, care transmit presiunea prin intermediul scoabei *7* în formă de U. Presiunea se realizează cu piulițele *8*. Cînd cuțitul *2* se deplasează în lamele, acestea se rotesc în jurul punctului *O* și are loc alunecarea proeminenței *A* în crestătură, fapt care duce la autocurățirea suprafețelor de contact. La închiderea contactelor, lamelele sînt apăsate cu cuțitul *2* și suportul *3* de către resorturile *6*, iar deplasarea lamelelor în sus este împiedicată de lamela *9*.

Varianta *c* reprezintă un contact tip deget, care constă din cîteva perechi de degete *1*, sub formă de clemă dreptunghiulară, cu un capăt îndoit sub un anumit unghi și cu celălalt capăt legat de suportul conductor *3*. Deoarece degetul are posibilitatea de a se ghida liber față de planul cuțitului *2*, asigurînd o atingere minimă în trei puncte, el se numește *contact cu autoghidare*. Posibilitatea ghidajului liber este asigurată de resortul *4*, care apasă asupra degetului prin capul rotunjit al nitului *5*. În același timp, deplasarea degetului în sus și în direcția laterală este limitată de scoaba de oțel specială *6*, care este fixată împreună cu legătura *7* de deget.

Folosirea contactelor deget sub formă de perechi mărește stabilitatea electrodinamică a aparatului, deoarece curentul care trece prin ambele degete și are aceeași direcție face ca degetele să se atragă unul față de celălalt. compensînd parțial sau total, forțele electrodinamice de respingere, care apar în locul de trecere a curentului de la cuțit la deget.

*Contactele tip tulipă* se folosesc pentru întreruptoare cu curenți nominali pînă la 1 000 A. Ele sînt formate din carcasa *4* care cuprinde un ansamblu de cîteva lamele de contact *2* (fig. 14.4) fixate de lamelele elastice *1* și dispuse pe o circumferință în jurul tijei de contact *5*, care se apasă pe tijă datorită unor resorturi *3*, spirale sau plane. Lamelele, care pot avea diferite profile (plane, trapezoidale, în formă de Z) formează partea fixă a contactului, iar tija, partea mobilă (contactul mobil).

Contactele tip tulipă au o rezistență de trecere relativ mică. Avantajul pe care-l prezintă este acela că la deschidere, arcul electric care apare se

formează între partea frontală a tijei de contact și orificiul prizei și, ca urmare, partea de lucru a suprafețelor de contact nu este supusă acțiunii arcului. În afară de aceasta, la închidere, acționarea trebuie să înlăture doar forța de frecare dintre suprafețele de contact și nu forța de apăsare pe contact.

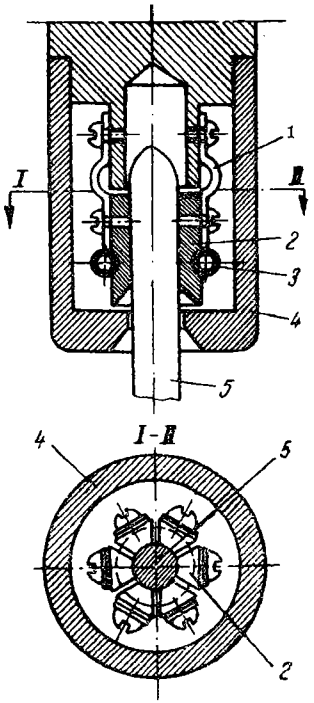


Fig. 14.4. Contacte tip tulipă.

## 2. Arcul electric în aparatele de comutație

**Formarea arcului electric.** La deconectarea circuitelor electrice, între contactele aparatelor electrice de comutație apare un arc electric, al cărui parametri (durată, tensiune, temperatură, densitate de curent) depind de condițiile locale din camera de stingere în care se află contactele. Formarea lui se datorește unui proces de ionizare puternică a mediului (dielectricului) dintre contacte, care își pierde calitățile izolante și capătă proprietăți de bun conducător de electricitate. El reprezintă o descărcare electrică caracterizată printr-o densitate mare de curent ($10^3-10^8$ A/cm$^2$), o temperatură înaltă (5 000—6 000°C) și o cădere de tensiune catodică mică (10—15 V). Această descărcare este susținută de particule încărcate cu electricitate (electroni sau ioni) formate în arc datorită emisiei termoelectronice de pe catod și de ionizarea de volum a gazului. Emisia electronilor liberi de pe suprafața catodului are loc la o temperatură înaltă, iar ionizarea de volum a gazului are loc ca urmare a electronilor care se deplasează în coloana de arc sub acțiunea unui cîmp electric exterior, cu o viteză mare.

În coloana de arc, sub acțiunea cîmpului electric, și a temperaturii înalte, se desfășoară în mod continuu două procese opuse și anume, pe de o parte, procesul de ionizare, care formează particule încărcate cu electricitate, iar pe de altă parte, procesul de recombinare și de deionizare a acestora. În unitatea de volum există aproximativ o cantitate egală de sarcini libere, pozitive și negative, care se află într-un echilibru termodinamic, adică energiile cinetice medii ale particulelor sînt egale.

Coloana arcului cu cantități egale de sarcini libere, care se caracterizează printr-un înalt grad de ionizare a gazului, se numește plasmă. Aceasta avînd, ca și metalul, o cantitate egală de sarcini libere, are aproape aceeași conductivitate electrică mare ca și metalul. La deschiderea contactelor, plasma închide automat circuitul electric care trebuie deschis. Deschiderea circuitului va fi posibilă, din această cauză, numai prin stingerea arcului electric.

**Stingerea arcului electric.** În procesul de stingere a arcului electric, doi factori sînt esențiali, și anume: mediul în care are loc stingerea și procedeul utilizat pentru stingere. Mediul în care arcul se stinge trebuie să aibă o rigiditate dielectrică cît mai mare, iar temperatura la care începe ionizarea să

fie cît mai ridicată. Din acest punct de vedere, hidrogenul, aburul uscat, bioxidul de carbon, aerul şi gazele electronegative (hexafluorura de sulf) oferă condiţii bune pentru stingerea arcului electric.

Stingerea arcului în hidrogen se întîlneşte la întreruptoarele cu ulei şi la unele dispozitive cu degajare de gaze din materialele organice solide, cum sînt: fibra, sticla organică şi viniplastul. Sub acţiunea temperaturii înalte, în întreruptoarele cu ulei se degajează hidrogen, iar în dispozitive cu materiale organice (siguranţe de înaltă tensiune, descărcătoare) se degajează hidrogen, bioxid de carbon şi abur, care apoi acţionează stingerea arcului.

Aerul, ca mediu de stingere a arcului electric este foarte utilizat la întreruptoarele de înaltă şi joasă tensiune. Caracteristicile lui pot fi îmbunătăţite prin mărirea presiunii deoarece, în acest caz, creşte rigiditatea dielectrică şi conductibilitatea termică.

Hexafluorura de sulf ($SF_6$) este utilizată ca mediu de stingere la întreruptoarele moderne de înaltă tensiune. Utilizarea acestui gaz este indicată pentru calităţile sale de izolant, avînd o rigiditate dielectrică superioară aerului şi pentru calităţile sale termice, disociindu-se mai uşor decît aerul.

Arderea şi stingerea arcului electric sînt condiţionate, în bună măsură şi de materialul contactelor. Pentru a se reduce cantitatea de vapori de metal, care favorizează ionizarea termică este necesar să se utilizeze contacte din metale greu fuzibile şi cu mare capacitate calorică (argint-wolfram, cupru-wolfram şi cupru-carbid de wolfram).

Existenţa arcului electric între contacte conduce la o solicitare suplimentară, în afara solicitărilor electrodinamice şi termice la curenţi normali, de suprasarcină sau de scurtcircuit. Solicitarea suplimentară este cauzată de temperatura ridicată din arc. Pentru reducerea efectelor acestei suprasolicitări asupra diferitelor părţi componente, conductoare sau izolante ale aparatelor este necesar ca durata arcului electric să fie redusă la minimum în procesul deconectării circuitelor electrice. Accasta se realizează prin folosirea diferitelor procedee pentru stingerea arcului electric, cum ar fi:

— intensificarea procesului de difuzie a ionilor prin alungirea rapidă a arcului, care se efectuează prin mărirea vitezei de desfacere a contactelor;

— suflajul cu aer sau cu gaze relativ reci şi neionizate, realizat în camere de stingere. Suflajul se poate face în lungul arcului (longitudinal) sau transversal pe arc;

— alungirea arcului electric, fie sub acţiunea forţelor electrodinamice, prin suflaj magnetic, fie sub acţiunea unei mase de material paramagnetic;

— divizarea arcului lung în o serie de arcuri scurte; în acest fel, tensiunea care ar fi aplicată coloanei de arc dintre contactele principale, se repartizează pe o serie de contacte secundare şi stingerea este mult uşurată;

— intensificarea procesului de recombinare a ionilor, care se realizează prin punerea arcului electric în contact cu un dielectric solid. Arcul arde într-un tub de material izolant (cazul siguranţelor de înaltă tensiune) sau să ardă pe un grătar din material izolant (cazul întreruptoarelor de înaltă tensiune), ca în figura 14.5. În acest ultim caz, arcul electric care se formează între contactul fix *1* şi cel mobil *2*, se întinde între plăcuţele izolante *3* ale grătarului.

Procedeele arătate se referă atît la stingerea arcului în curent continuu, cît şi la stingerea arcului în curent alternativ. În curent alternativ, stingerea

se realizează mai uşor, datorită trece rii acestuia prin valoarea zero la fiecare jumătate de perioadă, cînd arcul electric rămîne nealimentat un timp foarte scurt.

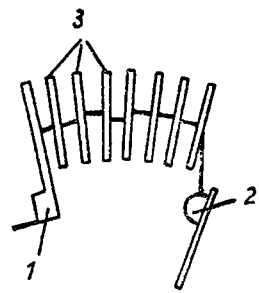


Fig. 14.5. Stingerea arcului prin intensificarea procesului de recombinare a ionilor cu ajutorul unui grătar din plăcuţe izolante.

### 3. Întreruptoare de înaltă tensiune

Cu ajutorul întreruptoarelor, în regimul normal de funcţionare a instalaţiilor se realizează toate operaţiile necesare de conectare, deconectare şi comutare a circuitelor sub sarcină şi în gol (a liniilor şi transformatoarelor de putere în gol), iar în regimurile de avarie, dintre care cele mai grele sînt cele de scurtcircuit, deconectarea automată a porţiunilor avariate. În cazul în care este necesar întreruptoarele se adaptează pentru reanclanşare automată imediat după prima declanşare.

Indiferent de instalaţia în care se montează, ele prezintă anumite particularităţi constructive, determinate de fluidul utilizat ca mediu izolant şi de modul de stingere a arcului electric. Din acest punct de vedere se disting mai multe tipuri de întreruptoare, care vor fi descrise în cele ce urmează.

• **Întreruptoare cu ulei.** Aceste aparate efectuează stingerea arcului electric cu ajutorul uleiului mineral (de transformator), care umple vase (cuve, cilindri) în care sînt aşezate sistemele de contacte, cu dispozitivele de stingere. Principiul lor de funcţionare este următorul: sub acţiunea temperaturii înalte a arcului electric (5 000—6 000°C) care apare la deschiderea contactelor, se produce o evaporare foarte rapidă a uleiului înconjurător, însoţită de disocierea vaporilor; ca rezultat, în jurul arcului se formează un înveliş gazos (pungă gazoasă), compus în special din hidrogen şi vapori de ulei, care răceşte coloana de arc.

Gazele care se degajează cu viteză mare (care apropie fenomenul de explozie) pătrund direct în zona canalului de arc, determină deplasarea gazului rece şi a celui fierbinte în pungă, creînd o răcire şi o deionizare intensă a intervalului disruptiv, în special în momentul trecerii curentului prin zero natural.

Influenţa favorabilă asupra stingerii arcului în ulei o exercită creşterea presiunii în punga gazoasă, care intensifică convecţia şi, prin aceasta, răcirea arcului. Creşterea presiunii se datoreşte gazelor şi vaporilor de ulei încălziţi de arc, care tind să se dilate, această dilatare fiind împiedicată de inerţia uleiului din jurul pungii gazoase şi de pereţii vasului (cuvei) în care se află uleiul. La construcţiile obişnuite de întreruptoare, presiunea în punga gazoasă se ridică pînă la 5—10 at şi mai mult.

În funcţie de cantitatea uleiului folosit şi de caracterul utilizării acestuia, întreruptoarele cu ulei pot fi împărţite în două grupe distincte:

— întreruptoare cu ulei mult sau cu volum mare de ulei;

— întreruptoare cu ulei puţin sau cu volum mic de ulei.

**Întreruptoarele cu ulei mult** se construiesc cu cuve cu forme geometrice variate (dreptunghiulare, circulare, ovale, bob de linte) şi cu diferite dispozitive de stingere a arcului electric, existînd deosebiri constructive în funcţie de valoarea tensiunii nominale, a curentului nominal şi a puterii de rupere.

Astfel, între construcţia întreruptoarelor pentru tensiunea de 3—20 kV şi a celor pentru tensiunea de 110 kV există deosebiri destul de mari. Cele din prima grupă se execută cu o singură cuvă, iar cele din grupa a doua cu trei cuve, cu transformatoare de curent şi de tensiune încorporate. Dispozitivele de stingere a arcului folosite în aparatele din prima grupă asigură stingerea lui la o putere de rupere de cîteva sute de MVA, iar cele folosite în aparatele din grupa a doua la o putere de rupere de cîteva mii de MVA. Pentru aparatele din prima grupă dispozitivele de acţionare realizează comanda trifazată manuală, automată şi la distanţă, cu reanclanşare automată *(RA)*, iar pentru cea de-a doua grupă, în special cu reanclanşare automată rapidă *(RAR)*.

După modul de stingere a arcului electric, aceste întreruptoare sînt *cu rupere liberă* şi *cu cameră de stingere*.

*Întreruptoarele cu ulei mult şi rupere liberă* au dispozitivele de stingere a arcului electric în cuve metalice legate la pămînt, umplute cu ulei de transformator. Uleiul foloseşte atît ca mediu în care arde şi se stinge arcul, cît şi ca dielectric care izolează elementele conductoare interioare ale întreruptorului între ele, faţă de cuvă şi de alte elemente legate la pămînt. Schema constructivă a unui astfel de întreruptor este reprezentată în figura 14.6. Contactele mobile *1* sînt fixate pe puntea conductoare *3*, care este manevrată cu ajutorul unei tije verticale *16* (ştangă izolantă) pe care se află un resort de declanşare *14*. Mişcarea tijei se efectuează cu un sistem de bielă-manivelă *4*. La partea inferioară a izolatoarelor de trecere *10* se află contactele fixe *2*, iar la partea superioară — bornele conductoare *17*.

Întreruperea circuitului se realizează în două locuri pentru fiecare fază, prin deplasarea în jos a tijei. Arcul electric *5*, care apare între contacte, produce o evaporare puternică a uleiului *12* şi un înveliş gazos *18*, care are o acţiune deionizantă, înlesnind stingerea arcului.

Pe cuva întreruptorului se află un indicator de nivel al uleiului *6*, sub formă de tub de sticlă, un orificiu de umplere *13*, un robinet de scurgere a uleiului *7* şi alte accesorii. În cuvă, între capacul *8* şi suprafaţa uleiului se lasă un spaţiu care comunică cu atmosfera prin tubul de evacuare a gazelor *11*.

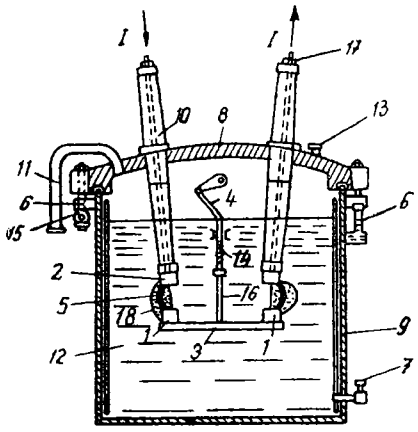


Fig. 14.6. Secţiune printr-un întreruptor cu ulei mult şi rupere liberă.

În acest fel se evită explozia întreruptorului, micşorîndu-se presiunea transmisă pereţilor *9* şi fundului cuvei la formarea bulelor de gaze în jurul arcului. Cînd presiunea gazelor depăşeşte o anumită valoare, cantitatea mare de gaze se evacuează prin orificiul de siguranţă *15*.

*Întreruptoarele cu ulei mult cu rupere simplă* (în două intervale) au o construcţie relativ simplă, costul redus, însă timpul de ardere a arcului este mare. Folosirea lor se limitează în prezent la tensiuni de distribuţie de 6—10 kV, cu puteri de rupere mici (100 — 200 MVA), în instalaţii nesupuse supravegherii.

*Întreruptoarele cu ulei mult şi cameră de stingere* sînt prevăzute cu o cameră specială de stingere a arcului, fixată la partea inferioară a izolatorului de

trecere. Introducerea camerei de stingere a îmbunătăţit condiţiile de stingere a arcului electric şi a permis construirea de întreruptoare cu ulei mult pentru tensiuni de 110 kV şi mai mult şi puteri de rupere de cîteva mii de MVA. La stingerea arcului electric în interiorul camerei se ating presiuni foarte înalte (60—100 at), în timp ce în interiorul cuvei întreruptorului presiunea este mică (1,5—2 at). În acest fel s-au putut reduce dimensiunile întreruptorului.

Pentru instalaţii exterioare de distribuţie, în ţara noastră se fabrică întreruptoare cu ulei mult şi cameră de stingere de 35 kV (IU-35). Acest tip de întreruptor este tripolar, avînd fiecare fază în cuvă separată. Cuvele sînt prevăzute cu pereţi izolaţi în interior. Mecanismul de acţionare este separat construit şi cuplat la axul principal al întreruptorului. Camera de stingere este montată într-un izolator umplut cu ulei, arcul electric fiind suflat longitudinal şi transversal.

Pentru tensiuni de 110 kV şi mai mult este reprezentată în figura 14.7 schema de principiu a circuitului de curent al întreruptorului cu ulei mult, la care se găsesc montate transformatoarele de curent şi de tensiune. Acesta din urmă este un transformator capacitiv de tensiune care foloseşte în acest scop armăturile trecerii tip condensator umplute cu ulei şi transformatorul de tensiune cu reactanţă. Construcţia din figura 14.7 este foarte avantajoasă, deoarece reuneşte patru aparate legate organic: întreruptorul propriu-zis, transformatoarele de curent şi de tensiune şi dispozitivul de acţionare.

Contactele fix *1* şi mobil *2* sînt introduse în camera de stingere *3*, care este aşezată la partea inferioară a izolatorului cu corp de porţelan *4*, umplut cu ulei şi străbătut de o tijă conducătoare *5*. Izolatorul se fixează pe capacul *6* al aparatului printr-o flanşă metalică *7* şi conţine în interior placa de condensator *8*. Transformatorul de curent are un bobinaj secundar *9*, primarul fiind realizat prin tija conducătoare *5*. Transformatorul de tensiune *10* are o reactanţă *11* şi un eclator de protecţie *12*. Flanşa metalică, legată cu capacul cuvei întreruptorului are o legătură la pămînt 13.

Introducerea camerei de stingere la întreruptoarele cu ulei mult are drept consecinţă activarea răcirii coloanei arcului electric prin creşterea presiunii gazelor dezvoltate şi prin crearea unui flux, longitudinal sau transversal, de gaze şi ulei. Această activare a deionizării arcului electric permite reducerea volumului de ulei în cuva întreruptorului. Totuşi, întreruptoarele cu ulei mult prezintă o serie de dezavantaje chiar la construcţiile îmbunătăţite şi anume, întreţinere dificilă, greutate şi gabarit mare (deci creşterea gabaritelor instalaţiilor de distribuţie). De aceea, în prezent există tendinţa de restrîngere a utilizării acestor întreruptoare, fiind înlocuite cu între-

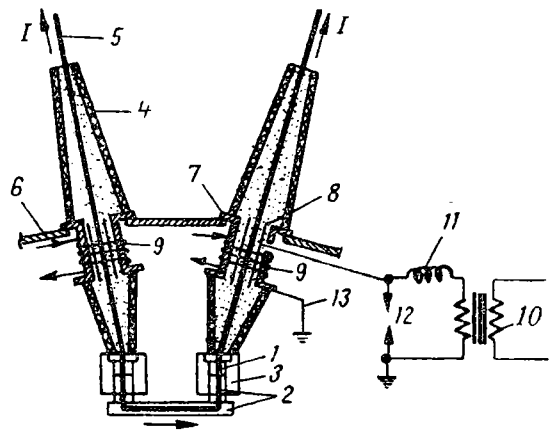



Fig. 14.7. Schema circuitului de curent al întreruptorului cu ulei mult, de 110 kV, cu transformator de curent şi transformator capacitiv de tensiune.

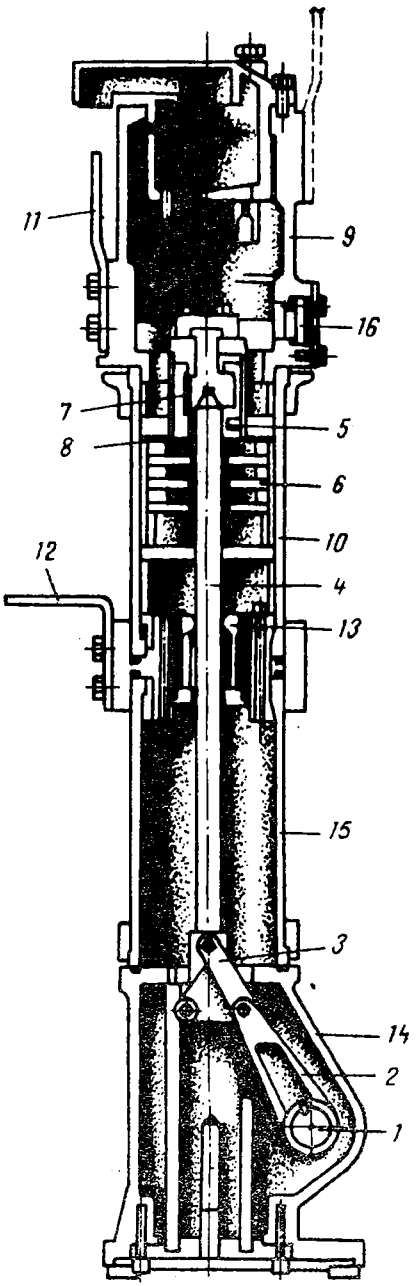



Fig. 14.8. Secțiune printr-un pol al unui întreruptor cu ulei puțin pentru medie tensiune.

ruptoare cu ulei puțin, cu aer comprimat sau cu hexafluorură de sulf.

**Întreruptoarele cu ulei puțin** sînt caracterizate de intensificarea acțiunii de răcire a arcului electric după principiile jetului și al expandării. În acest mod, volumul de ulei se reduce considerabil, însă întreaga masă de ulei ia parte la procesul stingerii. Izolarea elementelor conductoare și a dispozitivului de stingere a arcului față de pămînt se realizează cu materiale izolante ceramice (porțelan) sau organice (textolit, rășini epoxidice etc.).

În cele ce urmează se vor descrie construcții de întreruptoare cu ulei puțin din seria IO (ortojectoare), construite în țara noastră de întreprinderea „Electroputere" Craiova.

În figura 14.8 este reprezentată o secțiune longitudinală prin polul unui astfel de întreruptor folosit în instalațiile electrice de distribuție de 6 — 20 kV. Întreruptorul este reprezentat în poziția închis. Pentru deschiderea întreruptorului se acționează asupra axului *1* care, prin intermediul bielei *2* și al pîrghiei *3*, deplasează tija *4* a cărei parte inferioară este izolată. Tija execută o mișcare liniară, astfel încît la deschidere, vîrful ei părăsește tulipa *5* și intră în camera de stingere *6*. Vîrful tijei *4* și tulipa *5* sînt prevăzute cu piesele *7* și *8* din material refractar, care preiau piciorul arcului electric. Camera de stingere, de tipul cu jet transversal, este așezată într-un tub izolant *10* din material stratificat și comunică cu carterul superior *9*, unde are loc separarea gazelor fierbinți de ulei, după efectuarea unei deconectări.

Priza de curent este realizată prin elementele conductoare *11*, în legătură cu tulipa *5* și *12* în legătură cu tulipa *13*, care împreună cu tija *4*, for-

formează un contact alunecător. Legătura conductoare *12* este izolată de carterul *14* prin tubul izolant *15*. Pentru controlul vizual al existenței uleiului în întreruptor este prevăzută o sticlă de nivel *16*.

În cazul întreruptoarelor de exterior (instalate în aer liber), tubul izolant care conține camera de stingere este protejat împotriva agenților atmosferici de o anvelopă de porțelan.

Întreruptoarele cu ulei puțin din această serie se construiesc cu o singură cameră de stingere pentru utilizare în rețele cu tensiuni nominale mai mici decît 110 kV. Pentru tensiuni nominale ale rețelelor de 110 kV sau mai înalte, convine să se utilizeze principiul modulului, conectîndu-se pentru fiecare pol al întreruptorului, două sau mai multe camere de stingere înseriate, a căror funcționare trebuie să fie sincronă. Sincronizarea camerelor se realizează în moduri diferite. Dacă întreruptorul are numai două camere de stingere, sincronizarea se realizează prin cuplarea mecanică a tijelor de contact. Dacă întreruptorul are mai mult de două camere de stingere se comandă cu aceeași presiune, prin intermediul dispozitivului oleopneumatic, mai multe pistoane de acționare. Deoarece transmisia se execută prin țevi de același diametru, presiunea de lucru pe fețele pistoanelor de lucru se conservă cu suficientă exactitate. Camerele de stingere sînt dispuse în formă de V și sînt acționate cu ajutorul unui cilindru cu ulei. În figura 14.9 este reprezentată o astfel de dispunere a camerelor de stingere *1* și *2*, acționate de cilindrul *3*, prin intermediul tijelor *4* și *5*. Prin deplasare, pistonul cilindrului antrenează cele două tije cuplate mecanic, prin mecanismul care se rotește în jurul axelor $O_1$ și $O_2$.

Întreruptorul utilizat în instalațiile electrice cu tensiunea nominală de 110 kV cu două camere de stingere pe fiecare pol este reprezentat în figura 14.10. Camerele de stingere *1* sînt izolate față de pămînt prin coloana izolantă *2*, care este formată din izolatoare ceramice, prevăzute cu două tuburi cu ulei sub presiune, necesare dispozitivelor oleopneumatice de închidere și deschidere. Mecanismul de acționare este montat în carterul *3*, iar comanda oleopneumatică este adăpostită în dulapul *4*. Întreruptorul destinat insta-

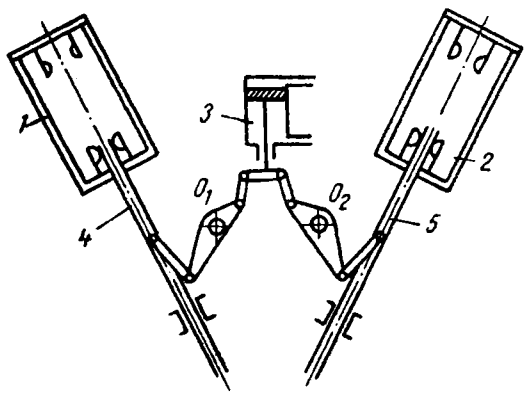



Fig. 14.9. Dispoziția în V a camerelor de stingere ale întreruptoarelor cu ulei puțin.

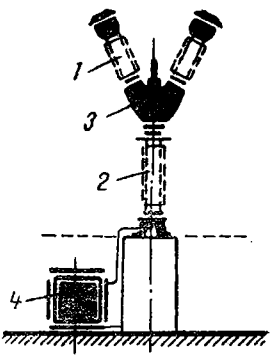



Fig. 14.10. Vedere a unui întreruptor cu ulei puțin cu două camere de stingere pe fiecare pol.

laţiilor electrice cu tensiunea nominală de 220 kV este similar cu cel prezentat în figura 14.10, avînd însă patru camere de stingere pe fiecare pol şi, evident, nivelul de izolaţie mai ridicat. Pentru instalaţii electrice cu tensiunea nominală de 400 kV se utilizează întreruptoare ortojectoare cu ulei puţin de acelaşi tip cu şase camere de stingere pe fiecare pol. Stingerea arcului electric în construcţiile moderne ale acestor tipuri de întreruptoare se realizează în timp foarte scurt, de ordinul 1—2 semiperioade (20 ms), iar întreruperea curentului de scurtcircuit se efectuează în circa trei perioade.

• **Întreruptoare cu expansină.** Expansina este un lichid neinflamabil, format din apă şi etil glicol (alcool etilic şi glicerină), care se utilizează ca mediu de stingere la întreruptoarele cu tensiuni nominale cuprinse între 10 şi 60 kV. Adaosul de etil glicol considerat la început ca necesar evitării îngheţului, a devenit necesar pentru sporirea cantităţii de gaze dezvoltate de arcul electric. Utilizarea apei ca mediu de stingere este indicată din cauza conţinutului de peste 70% hidrogen, care rezultă din descompunerea ei sub acţiunea arcului electric.

În figura 14.11 este reprezentată o astfel de cameră de stingere, formată din două compartimente *3* şi *5*. Compartimentul *3*, în care se formează arcul electric este umplut cu expansină *4*. Arcul electric vaporizează şi descompune apa, astfel încît presiunea creşte atît timp cît contactul mobil *2* obturează deschiderea către camera superioară. După ce contactul mobil s-a desprins de contactul fix *1* şi a eliberat această deschidere, arcul electric este suflat violent cu apă şi vapori. Destinderea bruscă a vaporilor de apă în camera superioară provoacă răcirea intensă a întregii mase de gaze şi deionizarea puternică a intervalului ocupat de arcul electric.

Caracteristic pentru aceste întreruptoare este faptul că producerea gazelor necesare pentru stingerea arcului electric depinde de intensitatea curentului întrerupt. De aceea, în cazul întreruperii unor curenţi de scurtcircuit prea mari, camera de stingere poate exploda din cauza presiunilor interioare ridicate. Pentru evitarea exploziei, la aceste întreruptoare s-a adoptat o cameră de stingere de construcţie specială (camera elastică, cu suflaj longitudinal).

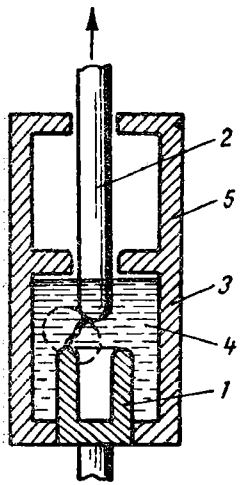


Fig. 14.11. Camera de stingere a unui întreruptor cu expansină.

Întreruptoarele de acest tip trebuie închise rapid. Dacă un astfel de întreruptor se închide pe scurtcircuit, apare între contactul mobil şi contactul fix în formă de tulipă un arc electric la o distanţă mult mai mare decît în cazul uleiului, ceea ce conduce la vaporizarea intensă a apei şi deci la periclitarea funcţionării aparatului. Din această cauză la întreruptoarele cu tensiunea nominală mai mare decît 10 kV se prevede şi o cameră de injecţie, în care se introduce amestec lichid numai pe durata întreruperii. În acest fel, stabilirea contactului la închidere se face în aer şi nu în apă.

Din punctul de vedere al exploatării, întreruptorul cu expansină prezintă neajunsul evaporării apei, ceea ce necesită o supraveghere atentă în scopul completării apei evaporate.

• **Întreruptoare cu aer comprimat.** La aceste întreruptoare, stingerea arcului electric se realizează cu ajutorul unui jet de aer longitudinal, radial sau transversal pe coloana arcului, debitat de o instalație de compresoare prevăzută cu rezervor de aer comprimat. Fluxul de aer care se deplasează cu o viteză mare (apropiată de cea sonică) îndepărtează particulele încălzite și ionizate și le înlocuiește cu particule proaspete răcite. Stingerea arcului electric se efectuează într-un timp foarte scurt (2 pînă la 4 semiperioade), aerul constituind un mediu cu mare rigiditate dielectrică și siguranță împotriva incendiilor. De aceea, construcția și utilizarea întreruptoarelor cu aer comprimat cu presiunea cuprinsă între 10 și 25 at, s-a extins foarte mult acoperind întreaga gamă a puterilor de rupere (400—60 000 MVA), a tensiunilor (10—750 kV) și a curenților (400—6 000 A).

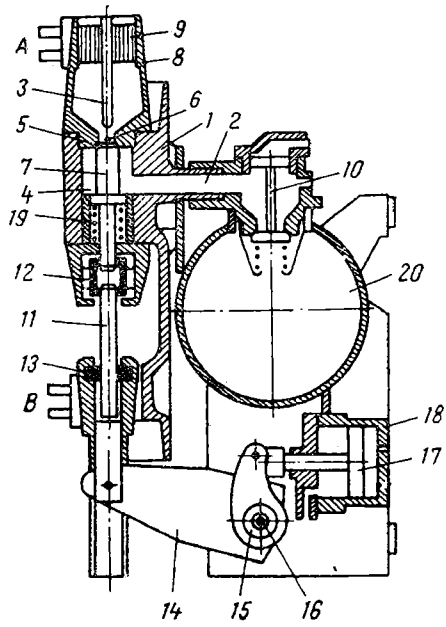


Fig. 14.12. Întreruptor cu aer comprimat cu separator în serie.

În figura 14.12 este reprezentat un întreruptor cu aer comprimat de 10 kV, 1 000 A și 350 MVA, care cuprinde și un dispozitiv auxiliar de întrerupere format dintr-un separator legat în serie cu întreruptorul. Corpul *1* al întreruptorului este format dintr-o piesă din rășină de turnare (epoxidică), rezistentă atît din punct de vedere mecanic și electric, cît și la umiditate. Camera de stingere *4* are o tijă *7*, prevăzută cu electrodul *6*, cu ajutorul căreia se stabilește contactul de presiune *5* cu marginea ajutajului. În fața ajutajului se află electrodul de captare *3*, care servește la limitarea lungimii arcului, și amortizorul *9*, plasat în carcasa *8*. Stingerea arcului electric este asigurată de gazul care vine din rezervorul *20*, prin conducta *2*, la deschiderea ventilului *10*. Gazul de stingere poate fi aerul comprimat de 10 at sau bioxidul de carbon îmbuteliat în stare lichidă și utilizat la 15 at. Separatorul întreruptorului este format din tija *11*, care în poziția „închis" stabilește contactul cu tija *7*, prin intermediul contactului în punte *12*. O bornă *A* a întreruptorului este practicată în carcasa *8*, iar cealaltă *B* la elementul fix al contactului alunecător *13*. Acționarea separatorului se face cu un dispozitiv de acționare cu aer comprimat, format din cilindrul *18* și pistonul *17*, care transmite mișcarea prin pîrghia izolantă *14*, axul gol *15* și axul de torsiune *16*. Deschiderea separatorului se efectuează cu ajutorul unei piese (declic), care permite eliberarea energiei acumulate în axul de torsiune *16*.

Aerul comprimat, care sosește prin conducta *2*, are de îndeplinit următoarele două funcții:

— retrage tija *7*, care la partea superioară are forma unui piston, prin comprimarea resortului *19*; astfel arcul electric apare între vîrful tijei și electrodul de captare *3*;

— răcește și stinge arcul electric printr-un jet axial.

Întreruptorul funcționează astfel: la declanșare se deplasează mai întîi tija *7* a contactului principal și după un timp de 50 ms, se deplasează tija *11* a separatorului. După efectuarea unei curse complete a tijei *11*, aerul comprimat este întrerupt, iar resortul *19* aduce vîrful tijei în contact cu piesa *5*. Închiderea întreruptorului este realizată numai de separator, prin contactul dintre tija *11* și puntea *12*, contactul principal fiind închis.

S-au creat întreruptoare cu aer comprimat perfecționate, pentru tensiuni înalte, dintre care ar putea fi menționate cele cu cameră de stingere sub presiune. Menținerea presiunii ridicate în camera de stingere permite realizarea unei curse mai scurte a contactelor, decît în cazul presiunilor mai mici. De asemenea, pentru mărirea rigidității dielectrice a intervalului dintre contacte, camera de stingere se umple cu aer comprimat, imediat după stingerea arcului, produsă la o distanță optimă. În acest fel la întreruptoarele de înaltă și foarte înaltă tensiune se evită străpungerea intervalului dintre contacte, sub acțiunea tensiunii nominale.

• **Întreruptoare cu hexafluorură de sulf ($SF_6$).** La acest tip de întreruptoare arcul electric este stins cu ajutorul unui jet gazos de hexafluorură de sulf. Utilizarea acestui gaz este indicată atît pentru calitățile sale de izolant, avînd o rigiditate dielectrică superioară aerului, cît și pentru calitățile sale termice, disociindu-se mai ușor decît azotul din aerul atmosferei.

Calitățile sale de izolant se datoresc afinității moleculelor lui pentru captarea electronilor liberi produși în arcul electric și de formare a ionilor negativi, care au aceeași mobilitate cu cea a ionilor pozitivi. În acest fel se creează o mare posibilitate de recombinare a acestora în moleculele neutre și ca urmare, stingerea arcului electric are loc în condiții mai bune decît în cazul aerului comprimat. Posibilitatea formării moleculelor neutre din ioni pozitivi și negativi este mai mare decît aceea a formării acestora din electroni liberi și ioni pozitivi, care are loc în cazul aerului comprimat.

Calitățile sale termice determină micșorarea conductanței remanente a coloanei arcului electric, ceea ce reduce posibilitatea de reaprindere a acestuia.

Întreruptoarele cu hexafluorură de sulf se construiesc în diverse variante, în funcție de tensiunea nominală a instalației în care se utilizează.

Astfel, pentru instalații cu tensiuni pînă la 10 kV, se pot utiliza întreruptoare cu autocompresie, care au dispozitivul de stingere plasat într-un rezervor cu hexafluorură de sulf cu o presiune de 3,5—6 at. Jetul de gaz necesar activării stingerii arcului electric este realizat prin autocompresie. Aceste aparate se folosesc pentru eliminarea pericolului de explozie, în exploatări miniere, avînd următorii parametri: tensiunea nominală 7,2 kV, curentul nominal 400 A și puterea de rupere 150 MVA.

Pentru tensiuni și puteri de rupere mai ridicate (10—30 kV și 500—1500 MVA) se folosesc întreruptoare cu hexafluorură de sulf cu circuit închis de gaz, în care gazul servește în același timp ca izolant, agent de acționare și jet pentru stingerea arcului electric. În figura 14.13 este reprezentat un astfel de aparat, care are un recipient *1* format din rășină de turnare, în care se află contactele tip tulipă *2* și tija tubulară mobilă *3*. Cînd întreruptorul este în stare de repaos (închis sau deschis) recipientul are în interior o presiune de 3 at. La recipient sînt conectate prin intermediul unor conducte

rezervorul *4* de înaltă presiune (15 at) şi rezervorul *5* de joasă presiune (3 at). Între cele două rezervoare se află un compresor *6*, care menţine în rezervorul *4* în permanenţă presiunea de 15 at.

Pentru deschiderea întreruptorului se comandă deschiderea electrovalvei *7*, prin care se admite gaz la presiunea de 15 at pe partea inferioară a pistonului solidar cu tija *3*. După ieşirea din tulipă a tijei mobile, arcul electric care se stabileşte între vîrful tulipei şi interiorul tijei mobile este întrerupt cu ajutorul jetului axial de gaz la prima trecere prin zero a curentului. Între ţeava metalică *8* şi pistonul tijei *3* se stabileşte contactul alunecător *9*. Prizele de curent *A* şi *B* se află la potenţialul ţevii metalice *8*, respectiv a tulipei *2*.

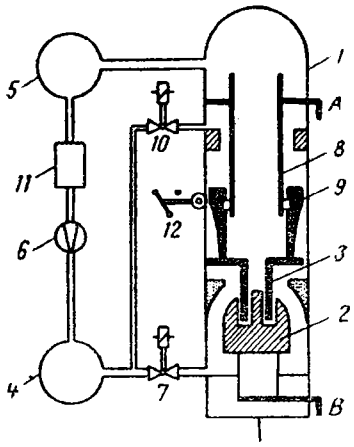


Fig. 14.13. Întreruptor cu hexafoluorură de sulf de medie tensiune.

La închidere se comandă electrovalva *10*, care trimite gaz comprimat pe partea superioară a pistonului solidar cu tija *3*. Gazul care a lucrat în camera de stingere este trecut prin filtrul *11* care conţine alumină ($Al_2O_3$) activată în scopul reţinerii fluorurilor metalice, apărute ca urmare a reacţiei dintre piesele metalice şi produsele de descompunere ale hexafluorurii de sulf în prezenţa arcului electric. Contactele *12* semnalizează poziţia închis sau deschis a întreruptorului.

Proprietăţile izolante şi de mediu de stingere ale hexafluorurii de sulf au determinat realizarea unor întreruptoare de acest tip şi la tensiuni foarte înalte, mai mari decît 220 kV, care au puteri de rupere foarte ridicate (mai mari decît 15 000 MVA).

Numărul camerelor de stingere pe fiecare pol la aceeaşi putere de rupere este mai mic decît la întreruptoarele cu aer comprimat.

În general, se prevede pentru viitor o mare extindere a fabricaţiei şi utilizării întreruptoarelor cu hexafluorură de sulf, în detrimentul celor cu aer comprimat şi cu ulei, ţinîndu-se seamă de avantajele lor tehnico-economice şi anume: număr mai redus de camere de stingere, la aceeaşi putere de rupere, gabarite mai reduse, stingerea mai rapidă a arcului şi fără pericol de explozie sau incendiu, reducerea zgomotului produs la deconectarea aparatului (deoarece gazul nu mai expandează la presiunea atmosferică). În acelaşi timp, din punctul de vedere al exploatării, întreruptorul de hexafluorură de sulf nu necesită revizii decît foarte rar (o dată la 10 ani).

## 4. Separatoare de înaltă tensiune

Separatorul este un aparat de conectare care în poziţia deschis asigură o distanţă vizibilă minimă prescrisă între contactele fiecărui pol. Rolul lui este de a izola faţă de o sursă o parte a instalaţiei şi, din această cauză, izolarea trebuie să fie vizibilă pentru personalul de serviciu care lucrează în instala-

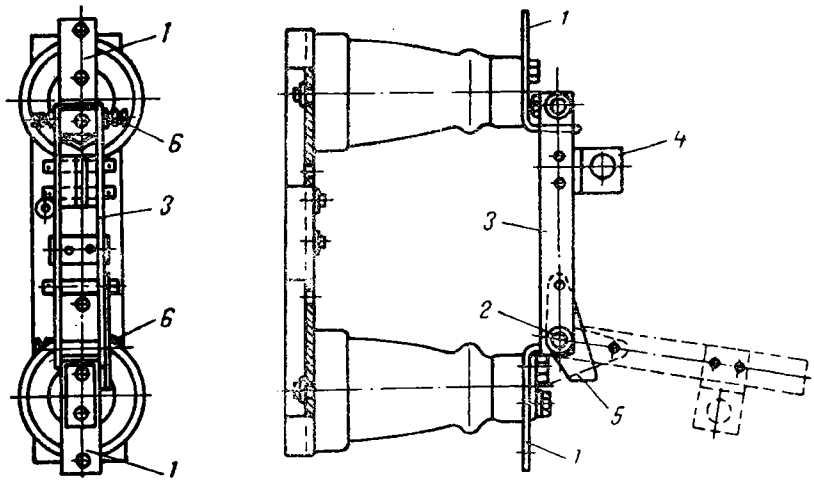



Fig. 14.14. Separator monopolar de 10 kV și 400 A pentru instalații interioare.

ție. El poate întrerupe numai curenți de valoare neglijabilă cum sînt, în unele cazuri, curenții de magnetizare ai transformatoarelor de putere mică sau curenții nominali ai transformatoarelor de putere foarte mică.

Separatorul este constituit, în general, dintr-un sistem de contacte, un sistem de izolare și un mecanism de comandă (de închidere și de deschidere). După locul de montare, separatoarele pot fi: pentru instalații interioare și pentru instalații exterioare. Ambele tipuri se execută monopolar sau tripolar. La separatoarele tripolare, cele trei faze pot avea comandă comună, prin intermediul unui arbore de legături.

**Separatoare pentru instalații interioare.** În general, acestea sînt instalate în poziție verticală, iar deplasarea contactelor se face într-un plan paralel cu axele izolatoarelor-suport ale polului.

În figura 14.14 este reprezentat un separator monopolar de tip basculant pentru interior. Pe cadru sînt montate izolatoarele suport pe care sînt fixate plăcile de contact fixe *1*. În jurul axului *2* se rotește contactul mobil în formă de cuțit *3*, constituit din două bare laterale care apasă pe contactele fixe, sub acțiunea resorturilor *6*, care asigură presiunea necesară. Închiderea și deschiderea separatorului se realizează cu ajutorul unei tije izolante, care agață urechea *4* a cuțitului. Unghiul de rotire este de 60—100°, fiind limitat de piesa opritoare *5*, fixată pe axul de rotație.

În figura 14.15 este reprezentat un separator tripolar de tip basculant pentru instalații interioare, cu amplasarea celor trei poli pe cadrul comun *5*. Fiecare pol al separatorului are două izolatoare suport *3* și o tijă izolatoare mobilă *4*. Tija izolatoare mobilă este articulată cu cuțitul *2* (constituit din două benzi paralele) și, printr-o pîrghie, cu axul general de acționare *6*. La rotirea acestuia într-un sens sau altul, se produce deplasarea tijei și deci deschiderea sau închiderea contactului *1* al separatorului, prin rotirea cuțitului *2* în jurul articulației *7*. Separatorul este acționat de un dispozitiv cu aer comprimat *8*.

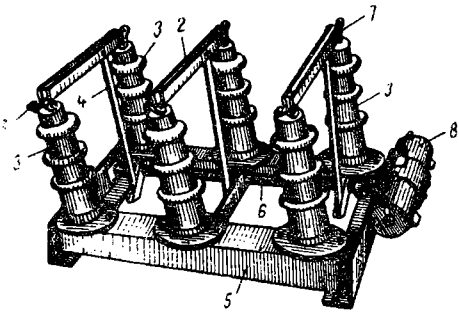



Fig. 14.15. Separator tripolar de 20 kV și 200 A pentru instalații interioare prevăzut cu dispozitiv de acționare pneumatic.

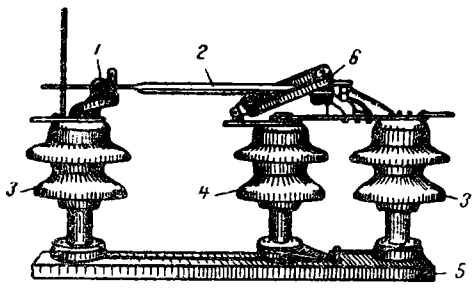



Fig. 14.16. Separator de 35 kV și 600 A pentru instalații exterioare fără cuțit de legare la pămînt.

**Separatoare pentru instalații exterioare.** Acestea au o construcție specială, pentru spargerea crustei de gheață depuse pe contacte.

În figura 14.16 este reprezentat unul dintre polii unui separator basculant pentru exterior cu dispozitiv de spargere a gheții. Fiecare pol este prevăzut cu trei izolatoare, montate pe un cadru separat *5*. Izolatoarele marginale *3* sînt fixate rigid pe cadru, iar izolatorul *4*, din mijloc, este montat pe un lagăr și are posibilitatea să se rotească în jurul axei sale. Cuțitul *2* al separatorului este realizat din țeavă avînd unul dintre capete presat în formă de lamă, iar celălalt capăt cuplat cu mecanismul de acționare *6*, care asigură deplasarea cuțitului la închidere și deschidere. Mecanismul este cuplat rigid cu o pîrghie fixată la capătul superior al izolatorului rotitor *4*. La deschiderea separatorului se produce rotirea izolatorului *4* care prin intermediul mecanismului *6*, rotește la început cuțitul cu 45° în jurul axei sale longitudinale, astfel încît muchia îngustă a părții plate poate să iasă liber din contactul fix *1*, iar apoi ridică cuțitul pînă la distanța necesară. Prin rotirea părții plate a cuțitului se asigură spargerea stratului eventual de gheață. La închiderea separatorului, operațiile se produc invers: la început, cuțitul coboară cu partea plată în poziție normală, spărgînd cu muchia îngustă stratul eventual de gheață de pe contact și intrînd liber între lamelele acestuia. După ce cuțitul a coborît în poziție orizontală, el se rotește cu 90° în jurul axei sale longitudinale și cu partea sa lată desface lamelele, asigurînd presiunea necesară între contacte.

În figura 14.17 este reprezentat un separator pentru instalații exterioare de 110 kV, prevăzut cu cuțite de legare la pămînt. Acestea se închid pe contactele fixe, printr-o rotire cu 90°, și leagă la pămînt conductoarele de fază ale liniei conectate la separator. Există unele tipuri de separatoare la care cuțitele de legare la pămînt sînt dispuse pe ambele capete ale separatorului. Cuțitele de legare la pămînt, au de regulă, un blocaj mecanic față de cuțitele principale ale separatorului.

Separatoarele pentru instalații exterioare se construiesc și cu un singur izolator sub formă de coloană verticală în prelungirea căreia se montează cuțitul. Soluția aceasta conduce la construcții mai economice și mai compacte. Un astfel de separator este reprezentat în figura 14.18. Separatorul are o coloană de sprijin formată din izolatoarele *1*. Coloana este rotită de jos cu

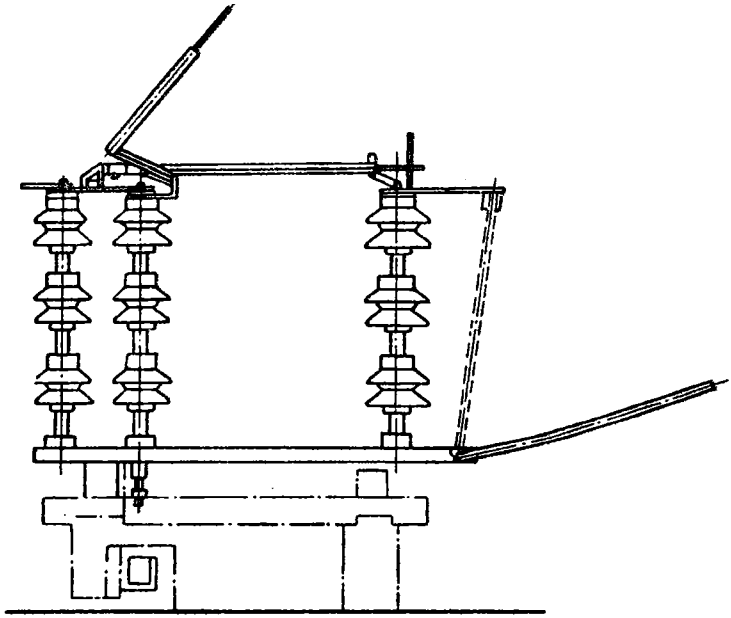


Fig. 14.17. Separator de 110 kV şi 600 A pentru instalaţii exterioare cu cuţite de legare la pămînt.

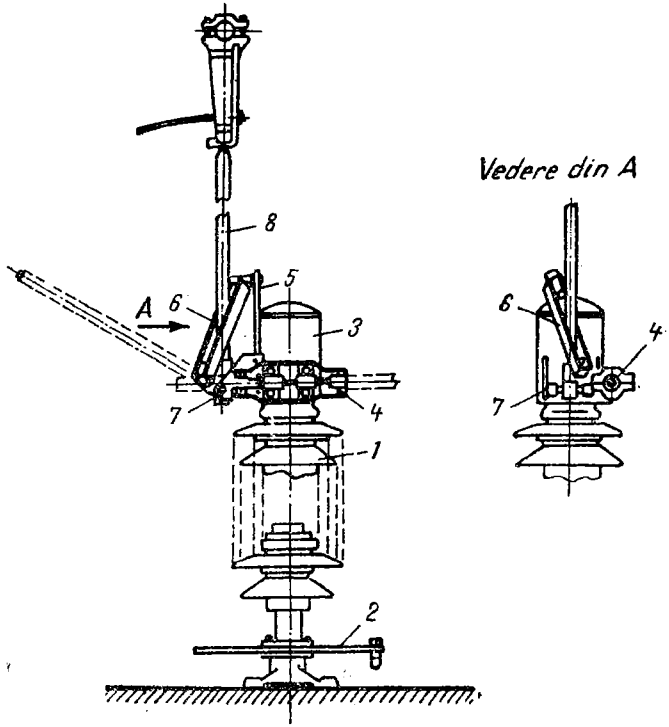



Fig. 14.18. Separator de 110 kV şi 600 A cu o singură coloană.

ajutorul pîrghiei *2*. Capul coloanei de sprijin *3* poartă borna *4* și rămîne nemișcat în timpul rotației coloanei izolatoarelor. Pîrghia *5* execută o mișcare de rotație în plan vertical, cu ajutorul unei transmisii care se află în interiorul capului coloanei. Rotirea pîrghiei *5* produce deplasarea piesei *6*, care transmite cuțitului întîi o mișcare de rotație în jurul axei sale, iar apoi o deplasare în plan vertical, în raport cu axul *7*. Cuțitul *8* al acestui separator leagă între ele barele așezate la niveluri diferite. Pentru o economie mai mare de spațiu, contactul mobil poate fi realizat sub forma unei tije articulate care se deplasează pe verticală.

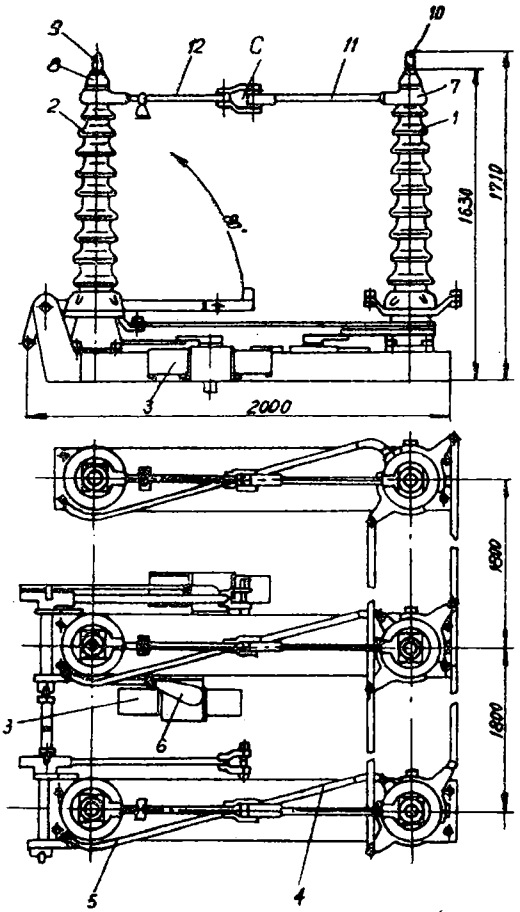


Fig. 14.19. Separator de 220 kV pentru instalații exterioare.

În figura 14.19 este reprezentat separatorul de 220 kV fabricat în țara noastră la „Electroputere". După cum se observă, pe fiecare fază sînt două izolatoare *1* și *2*, care pot pivota, executînd o mișcare de rotație de 90° sub acțiunea mecanismului *3*, care acționează pîrghiile *4* și *5* prin intermediul manivelei *6*. Pe tijele *11* și *12* sînt montate contactele *c*. Calea de curent între bolțurile *9* și *10* și tijele *11* și *12* este asigurată prin contactele alunecătoare care există în interiorul capelor *7* și *8*.

Acționarea acestui separator se face printr-un mecanism cu piston cu dublu efect și cremalieră, care transformă mișcarea de translație a tijelor *11* și *12* în mișcare de rotație. Mișcarea pistoanelor se efectuează cu ajutorul aerului comprimat. Mecanismul de acționare are și un dispozitiv de blocare electromagnetic, care realizează blocarea în pozițiile extreme închis sau deschis ale separatorului.

La tensiuni foarte înalte cuprinse între 220 și 750 kV, se utilizează separatoare de tip pantograf sau foarfece, care conduc la reducerea considerabilă a suprafeței în plan ocupată de acestea.

**Separatoare (întreruptoare) de sarcină.** Aceste aparate de conectare sînt capabile să întrerupă sarcina nominală a unui circuit, iar în poziția deschis asigură o distanță minimă între contactul fix și cel mobil, întocmai ca un separator. Separatorul de sarcină este utilizat în următoarele cazuri:

— pentru conectarea și deconectarea bateriilor de condensatoare pînă la puteri de circa 1 200 kvar și tensiuni de 20 kV;

— ca aparat de conectare în rețelele buclate, avînd rolul de a închide sau deschide bucla la sarcină nominală;

— pentru conectarea și deconectarea liniilor aeriene și a cablurilor în gol, în care caz puterea de rupere este sensibil mai mică decît la întreruperea sarcinii normale.

Deoarece separatoarele de sarcină au capacitatea de rupere mai mică decît puterea de scurtcircuit a rețelei, rezultă că protecția contra scurtcircuitelor, în rețelele puternice, revine întreruptoarelor sau siguranțelor fuzibile.

Din punct de vedere constructiv ele se execută sub forma unei combinații între un dispozitiv simplu de stingere a arcului electric și un separator.

Dispozitivul de stingere a arcului poate fi cu ulei, cu autogenerare (autocompresor) de gaze sau cu aer. El se introduce în circuitul de curent, cel mai frecvent în serie, iar în unele construcții în derivație. În cazul conectării în derivație curentul trece prin dispozitivul de stingere a arcului numai în procesul de deschidere sau de închidere.

În țara noastră se fabrică astfel de separatoare cu autocompresie pentru tensiunile de 10—20 kV și curentul de 200 A, prevăzute cu dispozitive de acționare rapidă, atît la conectare, cît și la deconectare. Puterea de rupere a acestor aparate poate fi mărită mult prin montarea lor în serie cu siguranțe fuzibile.

## 5. Dispozitive de acționare a întreruptoarelor și separatoarelor

Dispozitivele de acționare a întreruptoarelor și separatoarelor sînt destinate comenzilor de închidere și deschidere a acestora. Ele trebuie să dezvolte forțele necesare care să învingă frecările diferitelor părți ale mecanismelor, să imprime viteza necesară mișcării părților mobile ale aparatelor și să întindă sau să comprime resorturile de deconectare și presare a contactelor.

**Dispozitivele de acționare a întreruptoarelor.** Se vor descrie dispozitivele de acționare a întreruptoarelor cu aer comprimat și cu ulei puțin (ortoejectoare).

La prima categorie de întreruptoare efortul la deschidere sau la închidere se realizează cu ajutorul aerului comprimat care servește la armarea resortului de declanșare a întreruptorului. Pentru astfel de întreruptoare de medie tensiune, de exemplu, ca cel indicat în figura 14.12, aerul comprimat se utilizează la aceeași presiune, atît pentru stingerea arcului electric, cît și pentru acționarea tijei mobile.

La unele întreruptoare de înaltă tensiune, aerul comprimat se utilizează numai pentru acționare, arcul electric stingîndu-se în ulei.

În figura 14.20 este reprezentat schematic un dispozitiv de acționare cu aer comprimat, care asigură declanșarea liberă. Aerul comprimat la 10—12 at se află în rezervorul *1*, atașat întreruptorului. Prin admiterea aerului comprimat în cilindrul *2*, prin electrovalva *8*, pistonul *3* se deplasează, com-

primă resortul de declanșare *4* și menține întreruptorul în poziția deschis datorită unui clichet *6*. Mișcarea spre contactul mobil este transmisă prin tija *12*. Comanda de acționare a electrovalvei *8* pentru închiderea întreruptorului se efectuează cu ajutorul butonului de comandă *11*. Se observă că excitarea electromagnetului electrovalvei *8* nu este posibilă dacă contactul auxiliar al electrovalvei *9*, care asigură comunicarea cu presiunea atmosferică, nu este închis.

Comanda de deschidere este dată cu ajutorul butonului *10*, datorită căruia se excită simultan electromagnetul de dezăvorîre *7*, care desface clichetul *6* și electrovalva *9*, făcînd posibilă evacuarea aerului din cilindrul *2* în atmosferă prin orificiile *5*. Dacă s-a dat comanda de declanșare nu mai este posibilă o comandă de anclanșare, decît după anularea comenzii de declanșare. Există dispozitive de acționare cu aer comprimat, echipate și cu broască pentru asigurarea declanșării libere.

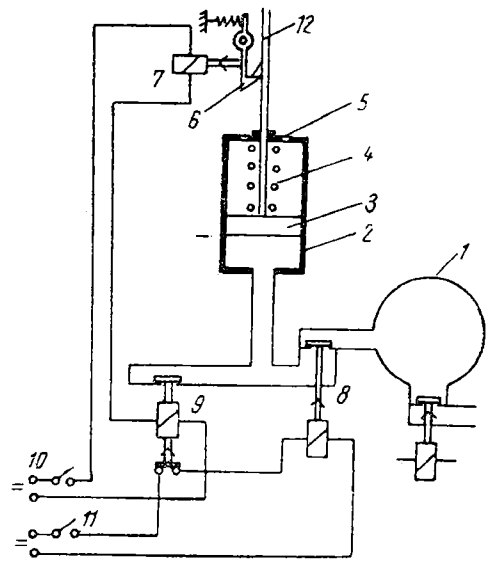


Fig. 14.20. Dispozitiv de acționare cu aer comprimat.

La alte întreruptoare, efortul de declanșare liberă se realizează cu ajutorul unui resort armat, iar efortul de închidere cu un dispozitiv pneumatic, electric sau manual.

Mecanismul de declanșare liberă asigură deschiderea întreruptoarelor în orice poziție a contactelor mobile. Acest mecanism evită închiderea întreruptorului (la comandă) pe un scurtcircuit, întreruptorul declanșînd automat, chiar dacă se menține comanda de închidere. În acest scop legătura între sistemul de producere a forței de închidere și axul întreruptorului nu se realizează rigid ci prin intermediul acestui mecanism de deschidere liberă.

La întreruptoarele de înaltă tensiune (peste 110 kV), unde tija mobilă trebuie să efectueze deplasări lungi, într-un timp relativ scurt, dispozitivul de acționare trebuie să dispună de energie mare, care să poată fi eliberată cu minimum de întîrziere. Comanda oleopneumatică satisface această cerere prin acumulare de energie într-un gaz comprimat, a cărei valoare poate fi foarte mare (se poate ridica pînă la 1 000 daNm). Cu o astfel de comandă sînt înzestrate și întreruptoarele ortoejectoare românești tip IO-110 și 220 kV.

Acest mecanism (tip MOP) cuprinde:

— un dispozitiv de acumulare a energiei, compus din acumulatorul propriu-zis, pompa, filtrul și rezervorul principal de ulei;

— un bloc de valve de închidere și unul de deschidere identice;

— un manostat cu contacte care controlează și reglează automat presiunea din acumulator;

— un dispozitiv pentru menținerea presiunii în conducte între manevre;

— un dispozitiv de semnalizare automat.

În figura 14.21 este reprezentată schematic această acționare oleopneumatică pentru întreruptoarele ortoejectoare românești tip IO. Presiunea de circa 300 at este asigurată de acumulatorul de energie *1*, care în pompa *2* trimite sub presiune ulei din rezervorul *3*. În stare de repaus, electrovalvele *4* și *5* sînt închise, iar între fețele pistonului cu dublu efect *6*, din cilindrul *7*, nu există diferență de presiune. Menținerea în poziția „închis" sau „deschis" este asigurată de către resortul *8*. În figură întreruptorul este presupus în poziția deschis.

Pentru a se închide întreruptorul printr-o comandă electrică, se deschide electrovalva *4* care trimite ulei pe fața superioară a pistonului *6*. Uleiul din partea inferioară a cilindrului este trimis în rezervorul *3*, prin electrovalva *5*, care stabilește comunicația necesară. După terminarea manevrei, electrovalvele *4* și *5* se închid, iar ansamblul revine în poziția de repaus.

La comanda de deschidere, electrovalva *5* trimite uleiului pe fața inferioară a pistonului *6*, iar electrovalva *4* descarcă în rezervorul *3*, uleiul de pe fața superioară a pistonului *6*.

Dispozitivul pentru menținerea presiunii în conducte, între manevre, este format din ventilele de întoarcere *9* și *10*, cu care se asigură o presiune cel puțin de 6 at, pentru a nu permite intrarea aerului în conducte. Uleiul necesar provine de la acumulatorul de energie, prin intermediul reductorului de presiune *11*.

Contactele auxiliare sînt acționate de pistonul *12*, a cărui poziție reproduce situația de „închis" sau „deschis".

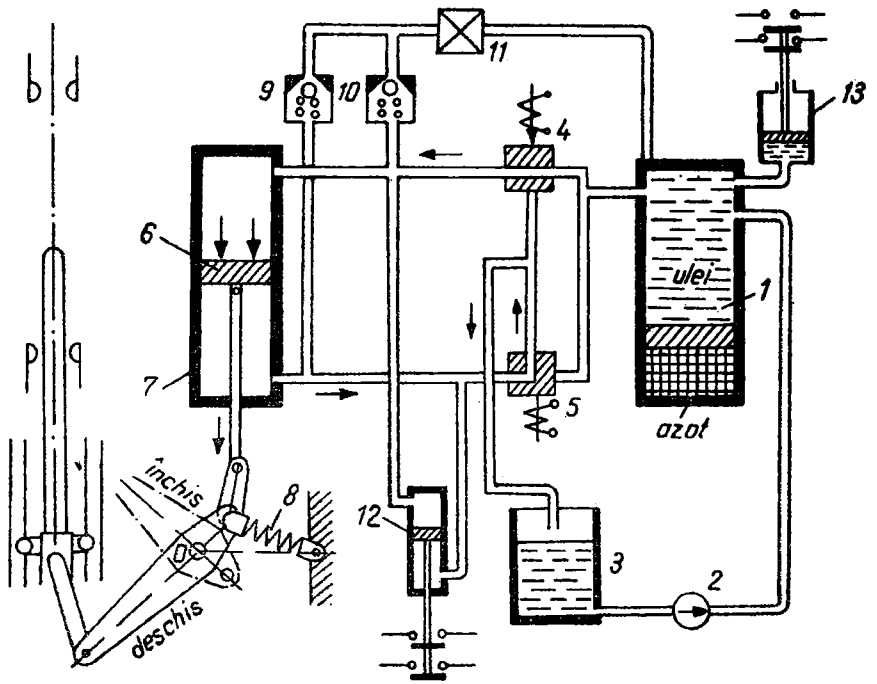



Fig. 14.21. Schema de principiu a dispozitivului de acționare oleopneumatic.

Dispozitivul manostat *13* blochează acţionarea întreruptorului în cazul scăderii presiunii în acumulatorul de energie. Blocajul la deschidere este comandat cu un releu intermediar, care comandă la scăderea presiunii în acumulator sub limita admisă, fie blocarea întreruptorului în poziţia deschis, fie deschiderea lui automată. Blocarea la închidere este realizată cu un alt releu intermediar, comandat de manostat.

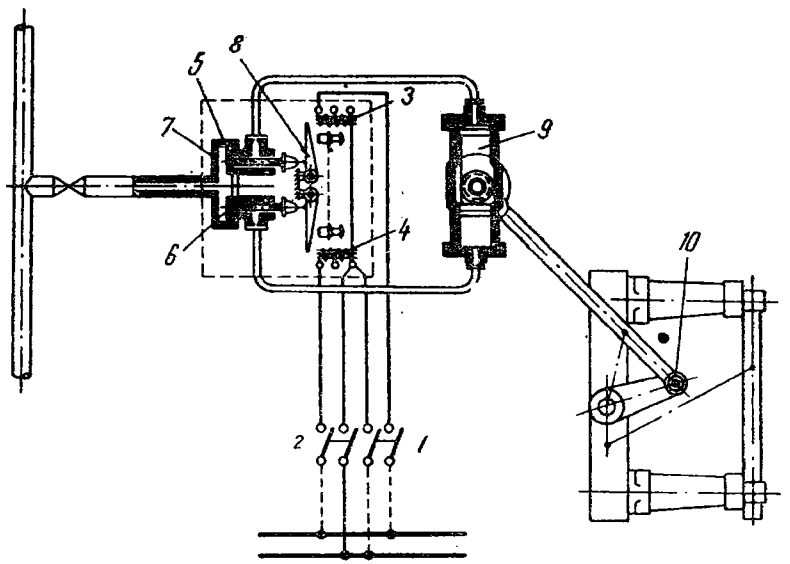
**Dispozitive de acţionare a separatoarelor.** Separatoarele pot fi acţionate separat pe fiecare fază (separatoare monopolare) sau simultan pe toate trei fazele (separatoare tripolare). În ultimul caz, polii separatoarelor au o acţionare comună şi sînt legaţi între ei mecanic.

Acţionarea separatoarelor poate fi manuală sau cu dispozitive pneumatice şi electrice.

Acţionarea manuală se realizează în modul cel mai simplu cu prăjina, care este o tijă izolantă de lungime corespunzătoare, prevăzută la un capăt cu vîrf metalic. Acest vîrf se introduce în urechea cuţitului separatorului şi se trage, trecînd cuţitul din poziţia „închis" în poziţia „deschis".

Pentru separatoarele grele, efortul necesar la manevrarea cu prăjina devine prea mare şi de aceea se utilizează adeseori dispozitive cu pîrghii acţionate de o manetă. Uneori acţionarea acestor separatoare se face cu o roată de mînă. Această soluţie este însă mai costisitoare şi nu prezintă avantaje deosebite faţă de acţionarea cu pîrghie.

Pentru comanda de la distanţă a separatoarelor se folosesc acţionările electrice sau pneumatice, care prezintă avantajul unei conectări fără şocuri, ceea ce este deosebit de important. Acţionarea pneumatică este foarte simplă şi uşor de realizat. În figura 14.22 este reprezentată o acţionare cu servomotor pneumatic. Pentru deconectarea separatorului se apasă pe butonul *1* şi în bobina *3* apare un curent care face ca miezul bobinei să fie atras, să lovească




14.22. Schema de principiu a dispozitivului de acţionare cu servomotor pneumatic.

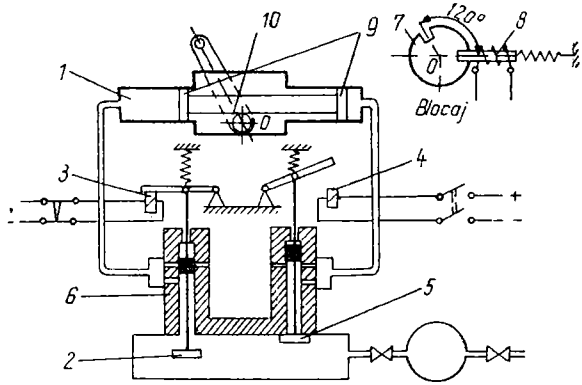



Fig. 14.23. Dispozitiv de acționare a separatorului de 220 kV.

pîrghia *8* și să deschisă supapa *5* a dispozitivului *7* de admisie a aerului comprimat. Astfel, aerul intră în partea superioară a cilindrului *9* și deplasează pistonul care acționează asupra sistemului de pîrghii *10*, deschizînd separatorul. La conectarea separatorului se apasă pe butonul *2* și în bobina *4* începe să circule un curent. Se deschide cealaltă supapă *6* și aerul intră în partea inferioară a cilindrului, efectuînd operația de închidere a separatorului.

În figura 14.23 este reprezentat un alt dispozitiv de acționare cu aer comprimat folosit pentru separatorul de înaltă tensiune din figura 14.19. Dispozitivul are o carcasă *1*, în care se află un piston *9* cu dublu efect și un mecanism cu cremalieră *10*, care transformă mișcarea de translație în mișcare de rotație în jurul axului *O*. Electrovalva *6* este prevăzută cu două supape *2* și *5*, care se deschid cu ajutorul electromagneților *3* și *4*, și care permit admisia aerului la 6 at pe o față sau pe alta a pistonului *9*. Pe axul *O* se mai află și un mecanism de blocare electromagnetic, format în esență din șaiba *7*, prevăzută cu două goluri situate la 120°, și electromagnetul *8*. Blocarea acestui mecanism se realizează în cele două poziții extreme „închis" și „deschis" ale separatorului.

## B. APARATE ELECTRICE DE PROTECȚIE

Din această categorie de aparate vor fi descrise în cele ce urmează, siguranțele fuzibile de înaltă tensiune și descărcătoarele.

### 1. Siguranțe fuzibile de înaltă tensiune

Siguranțele fuzibile sînt aparate de protecție care întrerup curentul, în limita puterii nominale de rupere, prin topirea unuia sau a mai multor elemente dimensionate în acest scop. Elementul fuzibil al siguranței se conectează în serie în circuitul instalației protejate și se topește la trecerea curenților de scurtcircuit sau de suprasarcină. După stingerea arcului electric apărut la arderea fuzibilului, circuitul se întrerupe și instalația protejată nu suferă avarii.

Principalii parametri ai siguranţelor de înaltă tensiune sînt tensiunea şi curentul nominal al siguranţei şi puterea limită de deconectare (de rupere) a siguranţei.

*Curentul nominal* al siguranţei este ceva mai mic decît curentul minim de topire al firului.

*Puterea de rupere* a siguranţelor fuzibile de înaltă tensiune se indică în MVA şi este o mărime prezumată, care reprezintă puterea de scurtcircuit în punctul de instalare a fuzibilului, în ipoteza că nu s-ar produce limitarea curentului. Valoarea ei este cuprinsă între 200 şi 1 000 MVA, pentru tensiuni nominale cuprinse între 10 şi 30 kV.

Siguranţele de înaltă tensiune sînt prevăzute cu dispozitive de stingere a arcului electric. În funcţie de tipul de construcţie a acestor dispozitive, ele se pot clasifica în trei grupe :

— siguranţe cu material de umplutură cu granulaţie fină ;
— siguranţe cu autosuflare, în tub de material generator de gaze ;
— siguranţe cu alungire mecanică a arcului electric în timpul deconectării.

*Siguranţele cu material de umplutură cu granulaţie fină* au elementul fuzibil introdus într-un mediu cu granulaţie fină, închis în interiorul unui patron izolator. Materialul de umplutură este, în general, format de nisip de cuarţ cu granulaţie fină, care nu produce gaze la acţionarea termică a arcului şi deci nu măreşte presiunea în interiorul patronului.

În figura 14.24 sînt reprezentate patroanele unor siguranţe de 6—10 kV. Patronul siguranţei este format dintr-un tub de porţelan *1*, armat la capete cu capace de alamă *2*, prevăzute cu căpăcele de etanşare *3*. În interiorul tubului umplut cu nisip de cuarţ *7* este introdus elementul fuzibil *5*, respectiv *6*, realizat din una sau cîteva sîrme subţiri de cupru argintate, conectate în paralel. Pentru siguranţe cu curenţi nominali pînă la 7,5 A inclusiv (fig. 14.24, *a*) sîrmele sînt deosebit de subţiri şi înfăşurate pe un miez ceramic cu nervuri *4*, iar la siguranţele cu curenţi nominali mai mari de 7,5 A (fig. 14.24, *b*) realizate sub forma unor spirale *6*, fără miez ceramic.

Funcţionarea siguranţei este semnalizată personalului de exploatare de o armătură specială a indicatorului *9* care este reţinut în poziţia normală de un resort şi un fuzibil auxiliar *8*. După arderea fuzibilului activ şi a fuzibilului auxiliar care menţine resortul indicatorului *9*, acesta este împins în exterior.

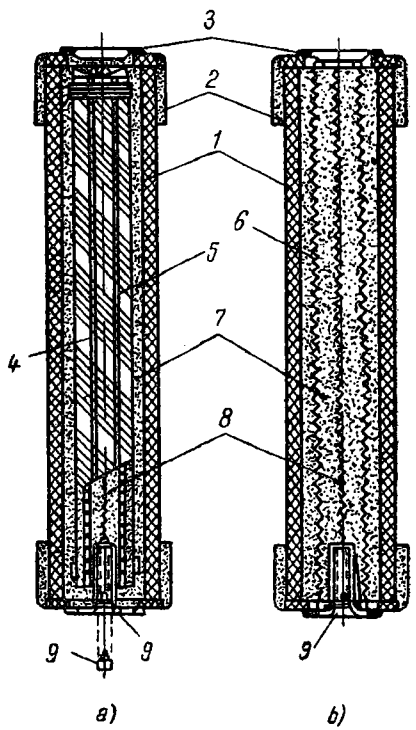



Fig. 14.24. Patroane de siguranţe cu umplutură de nisip pentru instalaţii de 6–10 kV :

*a* — secţiune prin patronul siguranţei cu element fuzibil înfăşurat pe miez ceramic (pentru curenţi pînă la 7,5 A) ; *b* — secţiune prin patronul siguranţei cu element fuzibil spiralizat (pentru curenţi de 10 A şi mai mult).

Siguranțele cu nisip de cuarț întrerup curenții de scurtcircuit foarte rapid limitînd efectele acestor curenți. Ele se folosesc mai ales pentru protecția circuitelor cu curenți nominali mici.

*Siguranțele cu autosuflaj de gaze* au elementul fuzibil suficient de lung, într-un tub de material solid, generator de gaze (fibră, sticlă organică etc.). La topirea fuzibilului degajarea intensă de gaze din pereții interiori ai tubului sub acțiunea temperaturii înalte a arcului electric, determină apariția unor presiuni înalte în tub și a unui suflaj intens de gaze în lungul arcului, ceea ce asigură stingerea lui la trecerea curentului prin valoarea zero.

În figura 14.25 este reprezentată o siguranță cu autosuflaj de gaze pentru tensiuni de 6—10 kV. În tubul de protecție de porțelan *1*, prevăzut cu cuțitele de contact *5*, este fixat tubul generator de gaze *2*, de fibră, în interiorul căruia trece firul fuzibil *3*. Pe elementul fuzibil sînt prevăzute inele izolante de distanțare *4*, care împiedică atingerea lui pe pereții tubului. În cazul curenților de scurtcircuit, topirea fuzibilului se produce simultan pe întreaga sa lungime. Generarea de gaze efectuîndu-se pe o suprafață mare, se asigură stingerea rapidă a arcului electric prin suflajul de gaze spre capetele deschise ale tubului. Fenomenul este însoțit de expulzarea flăcării și de un zgomot puternic. O astfel de formare intensă de gaze creează presiuni mari în tub, ceea ce limitează folosirea acestor siguranțe la valori nu prea mari de curenți. Puterea de rupere a unor astfel de tipuri de siguranțe nu depășește 100 MVA, pentru puteri mai mari putîndu-se folosi o altă variantă constructivă (cu fantă îngustă).

*Siguranțele cu alungire mecanică a arcului electric în procesul de rupere* au elemente fuzibile scurte, la a căror topire intervalul de descărcare se alungește datorită unor resorturi sau presiunii gazelor. După ce arcul electric atinge o anumită lungime, se produce stingerea lui în momentul trecerii curentului prin valoarea zero.

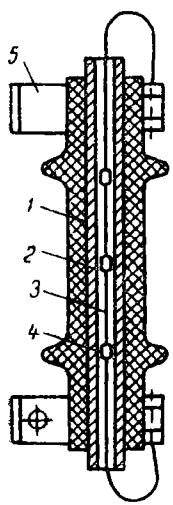



Fig. 14.25. Siguranță cu autosuflaj de gaze cu tub deschis pentru 6—10 kV.

În figura 14.26 este reprezentată vederea generală a unei siguranțe tubulare prin tensiunea de 35 kV cu tub generator de gaze și cu alungirea arcului electric.

În poziția de lucru patronul *1* al siguranței este fixat pe izolatorul *2*. Pe izolatorul *3* se găsește cuțitul *5*, de material izolant, prevăzut cu un resort care tinde să-l arunce în jos și să-l aducă în poziția *5*. Acest cuțit este cuplat cu capsula metalică *4* a legăturii fuzibile. La funcționarea siguranței fuzibilul se arde, cuțitul *5* se rotește și trage legătura flexibilă, astfel încît arcul este alungit. Începe o generare intensă de gaze care determină creșterea presiunii în tub pînă la 100—200 at, ceea ce ajută la aruncarea completă a legăturii flexibile din tub. Arcul este întins datorită suflajului longitudinal, realizat în urma evacuării gazelor prin capătul deschis al tubului. Cu cît curentul de scurtcircuit este mai mare cu atît procesul se desfășoară mai intens și arcul se stinge mai repede.

În figura 14.27 este reprezentată o secțiune printr-o siguranță fuzibilă de 35 kV și 40 A, elaborată în țară noastră de către Institutul de cercetări și proiectări electrotehnice.

În anvelopa *1* de porțelan se află suportul ceramic *2* pe care se bobinează după elice, firele fuzibile. În piesa *3* se fixează, prin presare ondulată, capătul unui fir de alamă *4* și capătul unui fir de fier tensionat cu resortul *5*. Curentul derivat din firul de alamă este neînsemnat în raport cu curentul care trece prin firele fuzibile de argint. După topirea firelor de argint și anularea practică a curentului, se va topi și firul de alamă, apărînd arcul electric în interiorul suportului ceramic. Apoi se topește firul de fier eliberînd indicatorul *6* de semnalizare, plasat la extremitatea suportului *2*.

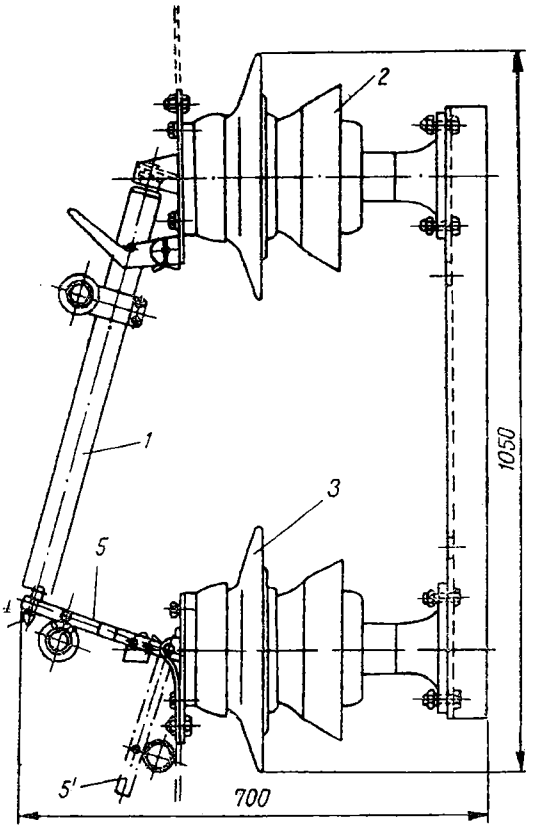



Fig. 14.26. Siguranță tubulară pentru tensiunea de 35 kV.

Folosirea siguranțelor fuzibile în instalațiile de înaltă tensiune are o bază economică deoarece acestea sînt aparate simple, au un preț redus și pot înlocui în unele cazuri întreruptoarele, care sînt mai costisitoare. Ele se instalează pentru protecția transformatoarelor de tensiune împotriva scurtcircuitelor ce pot apărea pe partea de joasă tensiune. De asemenea, posturile de transformare de putere mică (25—100 kVA) pentru electrificări rurale, sînt protejate pe partea de înaltă tensiune (15—20 kV) prin siguranțe fuzibile. În prezent, există tendința de a se înlocui aparatele grele de comutație, cum sînt întreruptoarele, prin siguranțele fuzibile plasate pe un cuțit, deci care joacă și rolul de separator; astfel de siguranțe protejează transformatoarele de puteri de 200—300 kVA din posturile de transformare industriale.

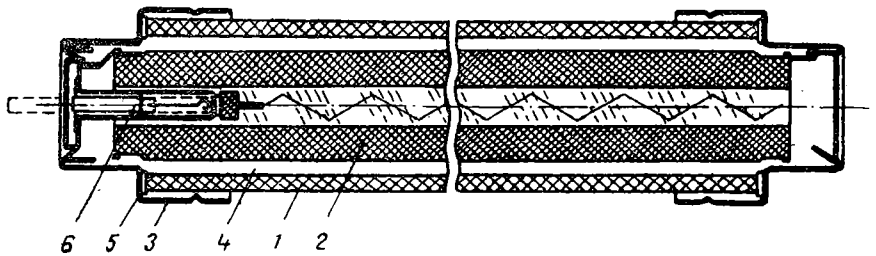



Fig. 14.27. Secțiune prin patronul siguranței de 35 kV și 40 A de fabricație românească.

## 2. Descărcătoare electrice

Descărcătoarele electrice sînt aparate de protecție a echipamentului electric împotriva supratensiunilor atmosferice și, uneori, împotriva supratensiunilor de comutație (internă), în concordanță cu principiile de coordonare a izolației. Rolul lor este de a limita aceste supratensiuni pînă la valorile nepericuloase pentru izolația aparatelor electrice din stații și centrale.

Constructiv și funcțional se deosebesc următoarele tipuri de descărcătoare: cu rezistență variabilă, tubulare, cu coarne și cu suflaj magnetic.

**Descărcătorul cu rezistență variabilă.** Acest tip de descărcător se montează între linie și pămînt, pe fiecare fază la intrarea în posturile și stațiile de transformare și uneori, pe legătura la transformator, atunci cînd acesta are o lungime mai mare. Pentru tensiuni pînă la 15 kV, descărcătoarele cu rezistență variabilă se construiesc ca în schița prezentată în figura 14.28, iar pentru tensiuni nominale cuprinse între 60 și 380 kV se construiesc după principiul modulului.

În figura 14.28 sînt reprezentate elementele componente ale unui descărcător cu rezistență variabilă. În figura 14.28, *a* este reprezentată o secțiune printr-un astfel de descărcător care cuprinde coloana cu eclatoare *A*, coloana cu rezistențe variabile *B* și anvelopa de porțelan *C*. În figura 14.28, *b* este reprezentată schema electrică echivalentă a descărcătorului în care se observă prezența rezistențelor de șuntare în paralel pe eclatoare, în scopul asigurării repartiției uniforme a tensiunii pe acestea. În figura 14.28, *c* este dat detaliul coloanei cu eclatoare și rezistențele de șuntare.

*Coloana cu eclatoare* este realizată din cîte două piese simetrice *1*, din tolă de alamă, solidarizate prin piesele *2*, din titanat de bariu, cu nitul *3*. Între perechile de piese *2* se stabilește distanța de eclatare $\delta$, care este menținută de rezistența de șuntare *4*, formată din material ceramic. Piesele *2* se caracterizează prin permitivitate mare. Ele mențin în jurul eclatoarelor, la tensiunea de lucru, o stare de preionizare a mediului. Distanța de eclatare se poate regla ca ea să fie străpunsă la 3—6 kV max. Numărul acestor distanțe crește cu tensiunea de serviciu a descărcătorului.

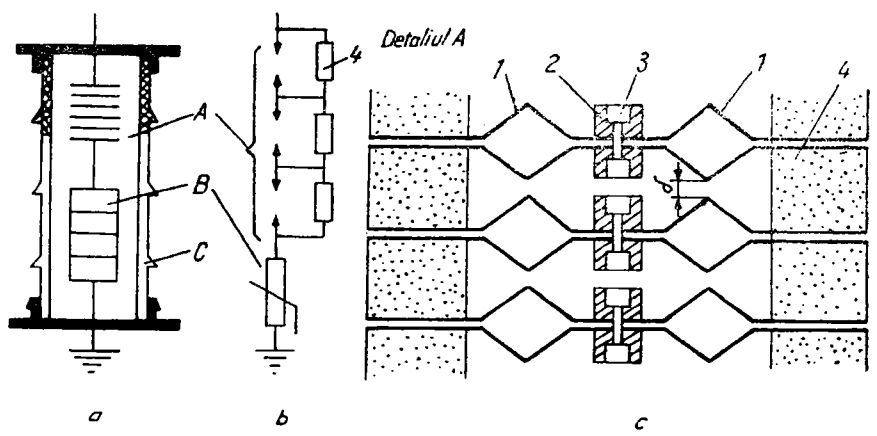



Fig. 14.28. Descărcător cu rezistență variabilă (DRV).

*Coloana cu rezistențe variabile* este formată din mai multe discuri de carburi de siliciu (material semiconductor) cu diametrul de 75—100 mm și grosimea de circa 20 mm. Caracteristic pentru un astfel de disc este variația rezistenței sale în raport cu curentul care îl străbate.

*Anvelopa de porțelan* protejează eclatoarele și rezistențele neliniare împotriva umidității și a altor agenți atmosferici. Ea este prevăzută cu o supapă de siguranță, pentru a se evita spargerea izolatorului în cazul nefuncționării corecte a descărcătorului.

Descărcătorul cu rezistențe variabile funcționează astfel: la apariția unei supratensiuni care depășește nivelul de izolație al descărcătorului, se amorsează coloana dielectrică prin care se scurge la pămînt un curent de impuls, denumit *curent de descărcare*, limitînd în acest fel supratensiunea din instalație. Stingerea arcului electric care se efectuează la sfîrșitul operației de scurgere a curentului este determinată de rezistența neliniară, a cărei valoare crește pe măsură ce valoarea supratensiunii scade. Trebuie menționat că o dată cu conducerea supratensiunii la pămînt, prin descărcător trece un *curent de însoțire* de frecvență industrială, a cărui intensitate depinde de modul de tratare a neutrului în rețeaua electrică considerată. Stingerea arcului în eclator are loc în momentul trecerii prin valoarea zero a curentului de însoțire, a cărei durată poate fi cel mult o jumătate de perioadă.

*Mărimile caracteristice* în funcționarea descărcătoarelor la undele de supratensiune sînt:

— *tensiunea de amorsare la impuls* $U_{ai}$ reprezintă tensiunea cea mai mare care apare la bornele descărcătorului, înaintea trecerii curentului de descărcare;

— *tensiunea reziduală* $U_r$ reprezintă tensiunea cea mai mare care apare la bornele descărcătorului, prin trecerea curentului. Valoarea ei se reglează în funcție de supratensiunile de comutație și trebuie să fie de 2,8—3,4 ori tensiunea nominală a rețelei;

— *curentul nominal al descărcătorului* $I_n$ reprezintă intensitatea maximă a curentului 10/20 μs pe care îl poate suporta descărcătorul. El se stabilește pe baze statististice, ținîndu-se seamă de probabilitatea de apariție a curenților de trăsnet cu anumite intensități. Construcțiile actuale corespund unor intensități de 1 500, 2 500, 5 000 și 10 000 A.

Aceste mărimi sînt prestabilite și se indică în figura 14.29 la funcționarea unui descărcător căruia i se aplică unda de impuls normală 1,2/50 μs.

Comportarea descărcătoarelor la frecvența industrială este caracterizată de: tensiunea de amorsare la frecvența industrială și de tensiunea de stingere la frecvența industrială.

*Tensiunea de amorsare la frecvența industrială* dată prin valoarea ei efectivă, trebuie să aibă valoarea ei de vîrf mai mare decît valoarea de vîrf a supratensiunilor interne (de comutație). Acest deziderat poate fi îndeplinit economic pînă la tensiunea de 220 kV.

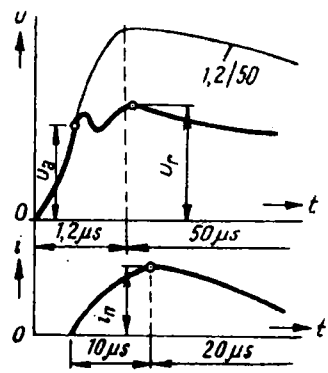



Fig. 14.29. Oscilograme obținute la funcționarea unui descărcător cu rezistență variabilă.

Între tensiunea de amorsare la impuls $U_{ai}$ și valoarea de vîrf a tensiunii de amorsare la frecvența industrială $U_a$, există relația :

$$U_{ai} = c_i U_a \qquad (14.1)$$

în care $c_i$ este denumit coeficient de impuls a cărui valoare se apropie de unitate.

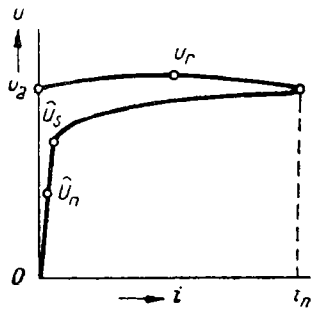



Fig. 14.30. Caracteristica tensiune-curent a unui descărcător cu rezistență variabilă.

*Tensiunea de stingere la frecvența industrială* $U_s$ este valoarea efectivă a tensiunii alternative care se aplică la bornele descărcătorului, acesta fiind supus acțiunii de stingere a curentului de însoțire, iar curentul de însoțire este stins. Valoarea ei trebuie să fie cel puțin cu 10% mai mare decît tensiunea de exploatare nominală $U_n$ a rețelei.

În figura 14.30 s-a reprezentat caracteristica tensiune-curent a descărcătorului pe care s-au marcat valorile tensiunilor $u_a$, $u_r$, $\hat{U}_s$ și $\hat{U}_r$.

**Descărcătorul tubular.** Pentru protecția împotriva supratensiunilor pe linii, deci în afara stațiilor, este economic să se utilizeze descărcătoare tubulare cu material gazogen. Un astfel de descărcător este schițat în figura 14.31 și se compune dintr-un eclator în aer, format din electrozii *5* și *6*, montați la extremitățile izolatorului *8* și un eclator de conturnare între tija *4* și electrodul *1*.

La amorsare are loc străpungerea eclatorului în aer și apoi arcul electric se stabilește în interiorul tubului gazogen *7*, pe care îl conturnează.

Stingerea arcului electric, după conducerea la pămînt a supratensiunii, este asigurată de presiunea locală rezultată prin dezvoltarea gazelor. Capacitatea $C$, formată între inelul exterior *3* și tija *4*, este mare față de capacitatea $C_1$ dintre electrozii *1* și *2*, ceea ce determină la apariția supratensiunii, întîi amorsarea eclatorului *1*, *2* și apoi a eclatorului principal *1*, *4*. Electrodul *9* se conectează la linie, iar electrodul *1* la pămînt.

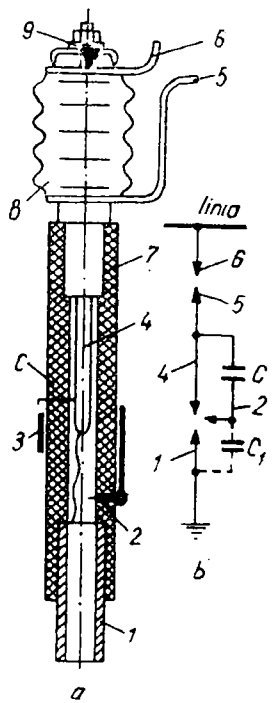



Fig. 14.31. Descărcător tubular :
*a* – vedere în secțiune ;
*b* – schemă electrică echivalentă.

Funcționarea în bune condiții a descărcătorului este determinată de intensitatea curentului de scurgere (de scurtcircuit). Descărcătorul stinge arcul electric format dacă valoarea curentului este cuprinsă între o limită inferioară, care asigură încă formarea gazelor la presiunea suficientă pentru stingere, și o limită superioară, care produce o presiune ce nu pune în pericol rezistența mecanică a descărcătorului.

Pentru identificarea și utilizarea corectă a descărcătoarelor se folosește o notație specifică. Astfel, notația DTF $\frac{10}{0{,}5-7}$ înseamnă descărcător

tubular cu fibră, cu tensiunea de 10 kV, care se poate instala în punctele în care curentul de scurtcircuit este cuprins între limitele 0,5 și 7 kA. Descărcătorul se montează pe stîlp în poziție verticală. El trebuie să fie bine fixat, pentru a se evita schimbarea poziției sau desprinderea lui sub acțiunea reculului care ia naștere la evacuarea gazelor. De asemenea, este necesar ca în zona de eliberare a gazelor să nu fie elemente ale instalațiilor electrice.

Descărcătorul tubular poate fi utilizat pentru protecția liniilor împotriva supratensiunilor, ca element auxiliar pentru protecția stațiilor, precum și la protecția de bază a posturilor de transformare de mică putere montate pe stîlpi.

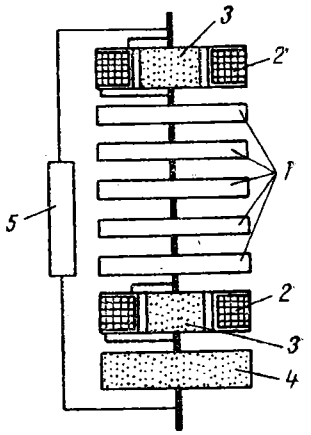


Fig. 14.32. Element de descărcător ASEA cu suflaj magnetic.

**Descărcătorul cu coarne.** Acest tip de descărcător este constituit din doi electrozi, separați printr-un spațiu de aer care asigură o protecție bună. Este un aparat ieftin și simplu, însă are dezavantajul că funcționarea lui necesită, de obicei, deconectarea instalației neavînd un alt mijloc de a întrerupe curentul de însoțire.

**Descărcătorul cu suflaj magnetic.** Într-un descărcător cu rezistență variabilă, rezistența neliniară limitează curentul de însoțire la 50—200 A, pe care îl poate întrerupe eclatorul. În cazul în care sarcinile care trebuie conduse la pămînt sînt mai importante iar supratensiunile interne (de comutație) trebuie limitate, este necesar ca diminuarea curentului să se facă nu numai din cauza rezistențelor neliniare, ci și din cauza rezistenței sporite a arcului electric întins. Acest deziderat se realizează cu descărcătoare cu rezistență variabilă și suflaj magnetic. Un element al acestui tip de descărcător este reprezentat în figura 14.32, care cuprinde:

— eclatoarele *1*, care alungesc arcul electric al curentului de însoțire. Fiecare eclator se compune din două elemente sub formă de discuri izolante, discul inferior avînd un electrod, iar discul superior un alt electrod al unui eclator;

— bobinele *2*, care creează cîmpul magnetic necesar suflajului;

— rezistențele de șuntare *3*, conectate în paralel pe bobinele de suflaj, în scopul limitării curentului care parcurge înfășurările bobinelor;

— discul *4*, cu rezistență neliniară;

— rezistența *5*, care reprezintă uniform cîmpul electric, pe toate elementele descărcătorului.

Funcționarea descărcătorului are loc în două etape. În etapa inițială curentul de scurgere (de impuls) este condus la pămînt prin rezistențele de șuntare *3*, deoarece bobinele *2* prezintă reactanță mare la unda 10/20 μs, care corespunde unei frecvențe înalte.

Etapa a doua, care se prezintă după trecerea curentului de impuls la pămînt, corespunde curentului de însoțire, care are frecvența industrială. În acest caz, bobinele *2* prezintă o reactanță inductivă mult micșorată față de etapa inițială, fiind parcurse de curentul de însoțire, care creează cîmpul magnetic necesar alungirii arcului electric. Această alungire se produce într-o fantă, creată în mod special în discurile izolante care compun eclatoarele *1*. Gro-

simea fantei este din ce în ce mai mică pe măsură ce arcul electric se alungeşte, determinîndu-se astfel, atît creşterea rezistenţei arcului electric, cît şi răcirea intensă pînă la stingerea lui.

Acest tip de descărcător este indispensabil mai ales reţelelor de curent continuu, cum sînt cele de tracţiune electrică de 800, 1 500 şi 3 000 V. În cazul curentului continuu, întreruperea curentului de însoţire este posibilă numai prin alungirea şi răcirea arcului electric, spre deosebire de situaţia din curentul alternativ, unde trecerea naturală a curentului prin zero favorizează stingerea arcului electric.

## C. APARATE LIMITATOARE DE CURENT

Bobinele de reactanţă sînt destinate să limiteze intensitatea curenţilor de scurtcircuit din instalaţiile electrice de mare putere, menţinînd totodată tensiunea la nivelul prescris în timpul funcţionării normale. În acest scop, ele sînt conectate în serie, cîte una pe fiecare fază, mărind artificial impedanţa circuitului la scurtcircuit. Montarea lor se face atît la barele colectoare ale centralelor electrice şi ale staţiilor de transformare, precum şi la liniile care pornesc de la aceste bare (v. fig. 14.1).

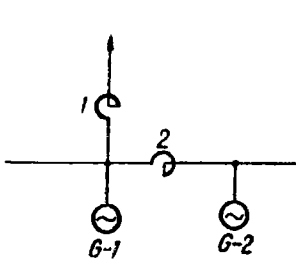


Fig. 14.33. Conectarea bobinelor de reactanţă în centrale electrice.

Indiferent de tipul constructiv, bobinele de reactanţă sînt caracterizate prin reactanţa lor inductivă, care este dată în procente ($X_r\%$) şi se exprimă prin relaţia:

$$X_r\% = \frac{3X_r I_{r\ nom}}{U_{nom}} \cdot 100. \qquad (14.2)$$

Poziţiile de conectare a bobinelor în centrale şi staţii sînt arătate în figura 14.33. Bobina *1*, din circuitul liniei de plecare în cablu, numită bobină de reactanţă (reactor) de linie, limitează curenţii de scurtcircuit din reţea şi din staţiile de transformare care se alimentează de la aceste linii.

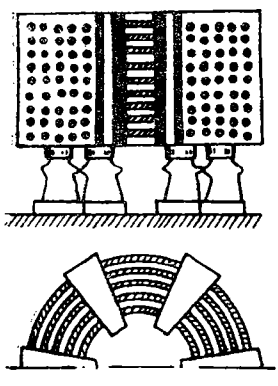


Fig. 14.34. Secţiune printr-o bobină de reactanţă în beton (uscată).

La staţiile de puteri mari, bobinele se instalează numai pe liniile de plecare în cabluri. Pe liniile aeriene, în mod obişnuit, nu se instalează, deoarece aceste linii au o reactanţă inductivă suficient de mare (de ordinul 0,4 Ω/km), care contribuie la reducerea curenţilor de scurtcircuit din staţiile de transformare coborîtoare.

Pentru obţinerea unei valori constante a inductanţei, bobinele se realizează fără miezuri de oţel. Ele au spirele între ele, fiecare bobină în ansamblu fiind izolată faţă de pămînt şi fixată pe o carcasă izolantă. În instalaţiile electrice ele se construiesc şi se utilizează în două variante şi anume: uscate şi în ulei.

**Bobinele de reactanţă uscate** se construiesc pînă la tensiuni de 35 kV şi au izolaţia uscată formată

din beton, porțelan sau materiale sintetice moderne. Ele se răcesc cu aer și se montează, în special, în încăperi închise.

Cea mai largă răspîndire în instalațiile de distribuție o au bobinele de reactanță în beton. În figura 14.34 este reprezentată schematic o secțiune printr-o astfel de bobină la care, în plan orizontal se văd coloanele de beton de secțiune trapezoidală, prin care trec conductoarele bobinajului. Intervalele dintre coloanele de beton asigură accesul aerului de răcire spre conductoarele bobinei. Bobina se execută din cablu de aluminiu flexibil sau din conductor de cupru izolat și cu anumite distanțe între axele spirelor pe verticală și pe orizontală.

Bobinele de reactanță uscate pot fi dispuse pe verticală sau pe orizontală, coloanele de beton fiind montate pe suporturi izolante.

**Bobinele de reactanță în ulei** se construiesc pentru tensiuni înalte (35 kV și mai mult), fiind destinate pentru instalarea în aer liber. Ele sînt introduse în cuve pline cu ulei de transformator care are rolul atît de material izolant, cît și de mediu de răcire. Spirele acestor bobine se introduc în unul sau cîțiva cilindri de material izolant, iar capetele ies în afară prin piese izolante de porțelan, montate pe capacul cuvei. Constructiv, ele prezintă multe elemente comune cu transformatoarele de forță, avînd un aspect exterior asemănător acestora.

## D. APARATE PENTRU ALIMENTAREA CIRCUITELOR DE MĂSURARE ȘI DE PROTECȚIE

Din această categorie de aparate fac parte transformatoarele (reductoarele) de curent și de tensiune, care se utilizează în scopul extinderii domeniului de măsurare al aparatelor electrodinamice, electromagnetice și de inducție, în circuitele de curent alternativ. În același timp, ele asigură securitatea personalului avînd bobinajul secundar legat la pămînt și izolat electric față de tensiunea înaltă.

Din punct de vedere constructiv, cele două tipuri de transformatoare se aseamănă, ele avînd două înfășurări izolate una față de cealaltă — primară și secundară — cu un număr corespunzător de spire, $n_1$ și $n_2$ bobinate pe un miez magnetic comun, confecționat din tablă silicioasă.

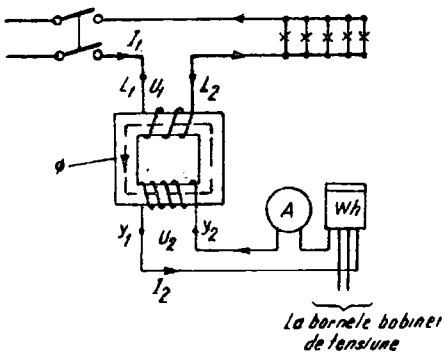



Fig. 14.35. Schema de principiu a unui transformator de curent.

### 1. Transformatorul de curent

Transformatorul de curent (fig. 14.35) are un bobinaj primar cu număr mic de spire, $n_1$ și cu secțiune mare; acest bobinaj este parcurs de curentul de sarcină $I_1$, absorbit de consumator (în cazul de față lămpi electrice),

iar bobinajul secundar are un număr mare de spire, $n_2$ și secțiune redusă : la bobinajul secundar se conectează ampermetrele și bobinele de curent ale wattmetrelor și contoarelor sau ale releelor. Numărul de spire $n_2$ din secundar se alege astfel încît să se obțină raportul de transformare dorit $K_{In}$ :

$$K_{In} = \frac{I_{1n}}{I_{2n}} = \frac{n_2}{n_1}. \tag{14.3}$$

Deoarece la bornele bobinajului secundar se conectează aparate a căror impedanță este relativ mică, transformatorul de curent funcționează ca un transformator cu secundarul în scurtcircuit.

Curentul $I_1$, trecînd prin primar, produce un flux în circuitul magnetic proporțional cu numărul de amperspire $I_1 n_1$ ; ca urmare, în circuitul secundar ia naștere un curent $I_2$ de sens opus lui $I_1$ și care creează un flux contrar ca sens fluxului primar (proporțional cu $I_2 n_2$). Fluxul magnetic rezultat este determinat de diferența celor două fluxuri, fiind proporțional cu așa-numitele amperspire de mers în gol $I_0 n_1$ ; acestea reprezintă 0,5—10% din valoarea lui $I_1 n_1$. Ca urmare, circuitul magnetic este parcurs de un flux magnetic $\Phi$ relativ mic. Fluxul produce tensiunea electromotoare $U_2$ a cărei valoare este de asemenea mică.

Dacă circuitul secundar este întrerupt, atunci amperspirele de mers în gol $I_0 n_1$ devin egale cu amperspirele $I_n n_1$, determinînd o creștere corespunzătoare a fluxului $\Phi$, ca urmare, tensiunea electromotoare $E_2 = U_2$ crește foarte mult (peste 1 000 V), fiind periculoasă atît pentru personalul de exploatare, cît și pentru aparate. De aici se trage concluzia că este interzisă întreruperea circuitului secundar al transformatorului de curent în timpul exploatării. Cînd se lucrează la aceste circuite, bornele secundare ale transformatorului trebuie să fie în prealabil scurtcircuitate, folosindu-se în acest scop scurtcircuitoare speciale.

Transformatoarele de curent sînt construite pentru curenții nominali $I_{1n}$ ai primarului, cuprinși în scara : 5 ; 7,5 ; 10 ; 15 ; 20 ; 30 ; 40 ; 50 ; 75 ; 100 ; 150 ; 200 ; 300 ; 400 ; 500 ; 600 ; 750 ; 1 000 ; 1 500 ; 2 000 ; 3 000 ; 4 000 și 5 000 A. Curentul secundar nominal $I_{2n}$ este de 5 A la aproape toate transformatoarele de curent utilizate în centrale și stații.

Transformatoarele de curent introduc la măsurare anumite erori, care sînt de două feluri : de raport de transformare (sau de curent) și de unghi.

*Eroarea de raport de transformare* $\beta_I\%$ pune în evidență diferența procentuală dintre valoarea curentului măsurat în secundar (înmulțită cu raportul de transformare $K_{1n}$) și valoarea reală prin primar, și are expresia :

$$\beta_I\% = \frac{K_{1n} I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100. \tag{14.4}$$

*Eroarea de unghi* $\gamma_i$ arată defazajul dintre curentul real din primar și cel măsurat în secundar, rotit cu 180°. La un transformator ideal, cei doi curenți sînt în fază, deci eroarea de unghi este nulă. Eroarea de unghi se consideră pozitivă dacă curentul secundar, rotit cu 180°, este defazat înaintea curentului primar. Erorile de unghi ale transformatoarelor de curent nu depășesc 1°.

Erorile transformatorului de curent depind de construcția lui, de mărimea și de felul impedanței conectate în secundar, precum și de valoarea reală a curentului primar față de curentul nominal al transformatorului.

Dacă impedanța din secundar crește peste valoarea nominală, erorile cresc și transformatorul iese din clasa de precizie, ca urmare, numărul de aparate din circuitul secundar trebuie astfel ales încît impedanța totală a bobinelor de curent să nu depășească impedanța nominală secundară.

Transformatoarele de curent sînt utilizate în funcție de clasa lor de precizie, după cum urmează:

— pentru aparatele din laboratorul PRAM, clasele de precizie 0,1 și 0,2;
— pentru bobinele de curent ale contoarelor, clasa de precizie 0,5;
— pentru ampermetrele industriale, clasa de precizie 3;
— pentru bobinele releelor de curent, clasele de precizie 3 și 10.

Trebuie menționat că releele de protecție și aparatele de măsurat nu se conectează la același bobinaj secundar, deoarece condițiile de funcționare sînt diferite și s-ar crea greutăți în exploatare (verificarea aparatelor de măsurat ar provoca scoaterea din funcțiune și a protecției).

Transformatoarele de curent se construiesc în special monofazate, cu unul sau mai multe bobinaje secundare. Miezul transformatorului de curent se confecționează din tole de transformator cu permeabilitate mare (permaloy), tinzîndu-se la reducerea lungimii circuitului magnetic.

Bobinajul primar se realizează fie cu o spiră, fie cu mai multe spire. Transformatoarele cu o spiră sînt mai ieftine și mai rezistente la scurtcircuit, dar

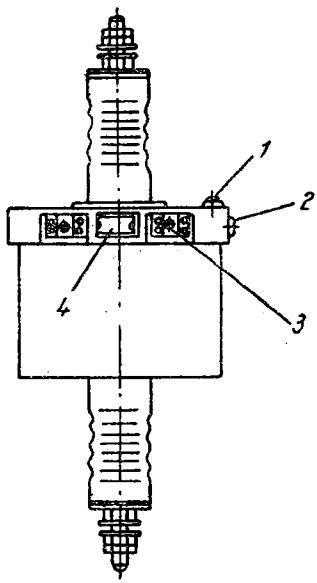



Fig. 14.36. Transformator de curent pentru interior CIPT:
*1 — sîrmele de legare la pămînt; 2 — bucșă de trecere; 3 — borne secundare; 4 — etichetă.*

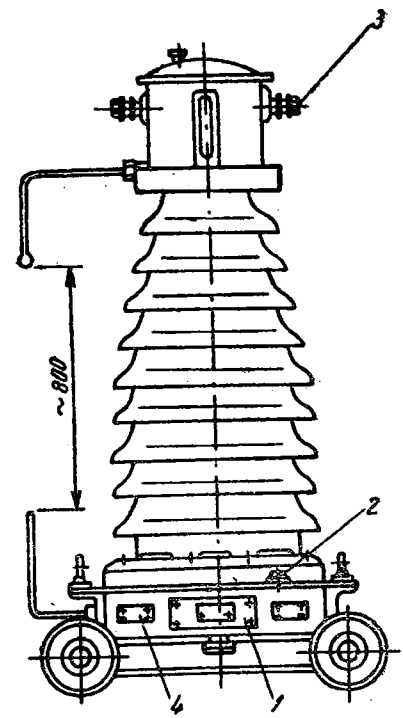



Fig. 14.37. Transformator de curent pentru exterior, tip CESU-110:
*1 — cutie de borne secundare; 2 — șurub de legare la pămînt; 3 — borne primare; 4 — etichetă.*

au erori mari; ele se construiesc îndeosebi pentru cazul în care trebuie să se măsoare curenți între 600 și 1 000 A sau mai mult.

Transformatoarele cu mai multe spire în primar au dezavantajul unei solicitări mari la scurtcircuit și se construiesc pentru curenți de 5—500 A.

Uneori transformatoarele de curent se montează în izolatoarele de trecere ale întreruptoarelor, făcîndu-se astfel economie de izolatoare.

Pe plăcuța transformatorului se scrie tipul, tensiunea nominală, clasa de precizie, curentul nominal primar, prescurtat cu inițiale. Astfel, CIPT 1 -10-15 kV, 1 500 A reprezintă: C — transformatoare de curent; I — de interior; P — izolația din porțelan; T — de trecere; 1 — clasa de precizie 1, la puterea maximă în secundar de 30 VA; 10—15 kV — tensiunea nominală; 1 500 A — curentul în primar. Se mai folosesc următoarele inițiale: S — pentru montaj simplu; TR — pentru izolație în rășină; E — pentru exterior; U — pentru ulei etc. Unele transformatoare de curent au de obicei două bobinaje secundare.

În figurile 14.36 și 14.37 sînt reprezentate două tipuri de transformatoare, de curent construite la „Electroputere" care sînt utilizate în instalațiile interioare și exterioare.

## 2. Transformatorul de tensiune

Transformatorul de tensiune este folosit pentru extinderea domeniului de măsurare a voltmetrelor, wattmetrelor și contoarelor; prin el tensiunea înaltă a rețelei se reduce pînă la 100 V. Bobinajul primar al transformatorului (fig. 14.38) se conectează în paralel la rețea.

Transformatorul de tensiune are în bobinajul primar un număr mare de spire $n_1$ cu secțiunea firului mică, asigurînd o impedanță mare. Numărul de spire $n_2$ din secundar se alege astfel încît să se obțină raportul de transformare dorit, cu ajutorul relației:

$$K_{Un} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (14.5)$$

Transformatorul de tensiune are conectată în secundar o impedanță mare, formată din bobinele de tensiune ale aparatelor (voltmetrul *V*, contorul *Wh* etc.).

Erorile transformatorului, atît cea de raport de transformare sau de tensiune $\beta_u$, cît și cea de unghi $\gamma_u$, depind de construcția transformatorului și de încărcarea din secundar (atît eroarea de unghi, cît și eroarea raportului de transformare cresc cu sarcina).

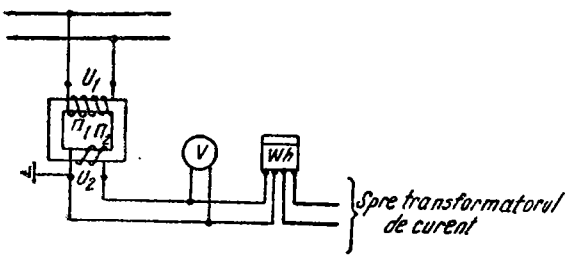



Fig. 14.38. Schema de principiu a transformatorului monofazat de tensiune.

Transformatoarele de tensiune sînt utilizate în funcție de clasa lor de precizie, după cum urmează:

— pentru aparatele etalon, clasa de precizie 0,2;

— pentru aparatele de măsurat și de control, clasele de precizie 0,5 și 1 ;
— pentru contoarele de energie electrică, clasa de precizie 0,5 ;
— pentru releele de protecție, clasa de precizie 3.

Pentru fiecare transformator în parte se stabilește puterea limită maximă din secundar pe baza condițiilor de funcționare. La suprasarcini care depășesc această valoare, transformatorul nu se mai încadrează în clasele de precizie amintite.

Transformatoarele de tensiune se execută trifazate și monofazate, cu unul sau mai multe bobinaje secundare. Bobinajul de înaltă tensiune — primarul — se izolează de cel secundar și față de miezul magnetic.

Izolația utilizată este construită din carton electrotehnic, textolit, cilindri de pertinax sau chiar ulei de transformator. Acesta din urmă servește în același timp ca și mediu de răcire. Construcția cu ulei de transformator este întîlnită foarte des, în toate instalațiile electrice de 6—400 kV.

Pe plăcuța indicatoare a transformatorului sînt înscrise prescurtat: denumirea, tensiunea primară, tensiunea bobinajelor secundare, clasa de precizie și sarcina corespunzătoare. De exemplu, denumirea TEMU-110 înseamnă: transformator de tensiune T, de exterior E, în execuție monofazată M, în ulei U pentru tensiunea primară de 110 kV. Se mai folosesc notațiile: I — pentru interior, B — bifazat, P — cu izolație de porțelan, R — cu izolație de rășină.

Transformatoarele de tensiune pentru stațiile interioare se deosebesc de cele pentru exterior prin forma și dimensiunile izolatorului de trecere.

În figura 14.39 este reprezentată construcția unui transformator de tensiune TIRM-20 (monofazat, cu izolație de rășină, funcționînd în instalațiile interioare de 20 kV).

În figura 14.40 este reprezentat transformatorul monofazat în ulei, tip TEMU-110, care se conectează în rețelele de 110 kV între o fază și pămînt. Transformatorul este utilizat în instalațiile exterioare, fiind prevăzut în acest scop cu izolatorul de porțelan *1* ; același tip constructiv este utilizat pentru rețelele de 35 kV.

Schema de conexiuni a bobinajului primar al transformatorului de 110 kV este reprezentată în figura 14.41. Bobinajul este împărțit în două secții egale, montate fiecare pe cîte un miez magnetic ; jumătatea fiecărei secții se leagă la miezul respectiv, asigurînd o solicitare uniformă a izolației ; cele două miezuri sînt la rîndul lor izolate între ele și montate pe suporturi izolante.

Tensiunea $U_f$ se repartizează uniform pe cele două secții din figura 14.41, *a* ; pe miezul celei de a doua secții sînt montate încă una sau două bobine, constituind secundarul transformatorului. Dacă în secundarul transformatorului nu se conectează aparatele de măsurat, repartiția tensiunii pe cele două secții este riguros egală ; dacă însă se conectează aparate, atunci curentul care trece prin acestea are efect de demagnetizare a miezului și repartiția tensiunii se modifică. Pentru a se împiedica acest lucru, se conectează o bobină în contrasens (fig. 14.41, *b*), care asigură un cuplaj magnetic suplimentar între cele două miezuri. În acest fel se asigură repartiția egală a tensiunii și deci independența raportului de transformare de sarcina secundară a transformatorului. Acest tip de transformator de tensiune se numește în cascadă.

În sistemul energetic al Republicii Socialiste România se găsesc transformatoare de măsură de diferite fabricații. În ultimul timp se utilizează transfor-

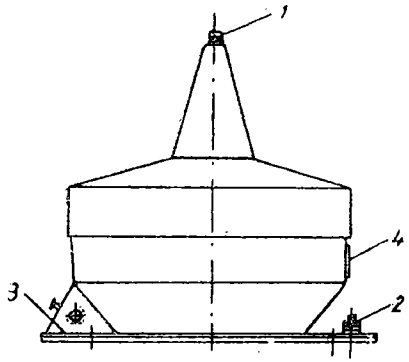



Fig. 14.39. Transformator de tensiune TIRM-20 :

*1* — bornă primară ; *2* — şurub de legare la pămînt ; *3* — cutia bornelor secundare ; *4* — etichetă.

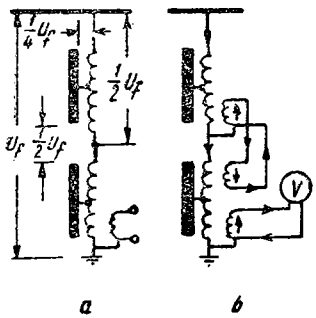



Fig. 14.41. Schema de principiu a unui transformator de tensiune în cascadă pentru 110 kV :

*a* — fără bobină de compensare ; *b* — cu bobină de compensare.

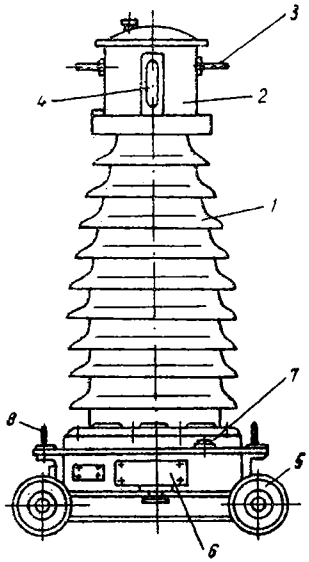



Fig. 14.40 Transformator de tensiune monofazat pentru instalaţiile exterioare de 110 kV, tip TEMU-110 :

*1* — izolator ; *2* — conservator ; *3* — bornă primară (de înaltă tensiune) ; *4* — indicator de nivel al uleiului ; *5* — cărucior ; *6* — cutia bornelor secundare ; *7* — şurub de legare la pămînt ; *8* — inel de ridicare.

matoarele construite la „Electroputere" pentru toate tensiunile de la 0,4 la 110 kV şi mai mult.

Transformatoarele de tensiune se montează pe barele staţiilor pe fiecare fază în parte, în circuitul generatorului şi cîteodată în liniile de înaltă tensiune. Conectarea transformatoarelor de tensiune în instalaţiile interioare de 6—10 kV se realizează prin separatoare şi siguranţe fuzibile, iar la 35 kV prin separatoare, siguranţe şi uneori şi prin rezistenţe limitatoare. Rolul acestor rezistenţe este de a reduce puterea de scurtcircuit pînă la o valoare egală cu capacitatea de rupere a siguranţei.

Transformatoarele de 110 kV sînt conectate prin intermediul separatoarelor, fără însă a fi nevoie de siguranţe, defectarea bobinajului transformatorului, precum şi a legăturilor la bare, fiind puţin probabilă.

La tensiunile de 220 şi 400 kV se utilizează fie transformatoare inductive în cascadă, fie reductoare capacitive de tensiune.

Capitolul 15

# SCHEMELE CIRCUITELOR PRIMARE ALE STAȚIILOR ELECTRICE

## A. GENERALITĂȚI

### 1. Stații electrice

Stația electrică este o componentă a sistemului electroenergetic, formată din instalațiile și construcțiile anexe, în care se realizează cel puțin una dintre următoarele operații :

— modificarea parametrilor puterii electromagnetice (tensiune, curent, frecvență) ;

— conectarea electrică a două sau mai multor generatoare de energie electrică ;

— conectarea electrică a două sau a mai multor căi de curent pentru alimentarea receptoarelor de energie electrică.

• După *funcțiile pe care le îndeplinesc* stațiile electrice se clasifică în :

— stații de conexiuni, în care se realizează transmiterea energiei electrice de pe un sistem de circuite pe alt sistem de circuite cu aceeași tensiune și aceeași frecvență ;

— stații de transformare, în care se realizează transmiterea energiei electrice de pe un sistem de circuite pe alt sistem de circuite, de aceeași frecvență dar cu tensiuni diferite ;

— stații de conversie, în care se realizează transmiterea energiei electrice de pe un sistem de circuite pe alt sistem de circuite cu frecvențe diferite și cu tensiuni diferite. Stația de conversie este *redresoare* — dacă energia electromagnetică de curent alternativ se transformă în energie electromagnetică de curent continuu sau este *invertoare* — dacă energia electromagnetică de curent continuu se transformă în energie electromagnetică de curent alternativ.

• În funcție de *amplasarea în cadrul sistemului electroenergetic* se deosebesc următoarele tipuri de stații :

— stații de centrale, prin care centralele electrice sînt conectate la sistemul electroenergetic ;

— stații de rețea, prin care se stabilesc după necesități, legături între liniile sistemului electroenergetic ;

— stații la consumatori, prin care consumatorii sînt conectați la sistemul electroenergetic ;

— stații cu funcții multiple, care sînt combinații de două sau trei dintre stațiile de centrale, de rețea și la consumatori.

O stație electrică cuprinde în principal următoarele elemente: circuite primare, circuite secundare, servicii interne, instalații auxiliare și anexe.

*Circuitele primare* cuprind mașinile și aparatele prin care energia electrică se transmite de la generator la consumator.

Aparatele din circuitele primare pot fi *de comutație* (întreruptoare, separatoare), *de măsurare* (transformatoare de măsură pentru tensiune și pentru curent), *de protecție* contra supratensiunilor și supracurenților etc.

*Circuitele secundare* cuprind aparate și dispozitive care asigură exploatarea circuitelor primare prin efectuarea operațiilor de comandă, semnalizare, măsurare, protecție și automatizare.

*Serviciile interne* cuprind instalațiile de curent alternativ (iluminat, acționări), instalațiile de curent continuu (circuitele operative de protecție, comandă, semnalizare, automatizare, telecomunicații) și instalația de aer comprimat pentru acționarea aparatajului de comutație primară.

*Instalațiile auxiliare și anexe* sînt: instalații de legare la pămînt, telecomunicațiile, gospodăria de ulei etc.

## 2. Posturi de transformare

Postul de transformare este o stație electrică cu puterea de cel mult 1 000—3 000 kVA și cu tensiunea secundară sub 1 000 V în scopul alimentării rețelelor de distribuție și a receptoarelor.

• În funcție de *amplasarea în rețeaua sistemului electroenergetic* se deosebesc trei tipuri de posturi de transformare:

— posturi în rețele publice, care deservesc mai mulți consumatori (abonați);

— posturi la consumator, care deservesc un singur consumator;

— posturi mixte, care se realizează din combinarea celor două posturi mai sus menționate.

• Posturile de transformare se mai clasifică și după următoarele puncte de vedere:

— din *punct de vedere constructiv*: în cabină zidită, în cabină metalică, în aer liber;

— din *punctul de vedere al așezării* față de nivelul solului: subterane, suprateranе, aeriene.

# B. BARE COLECTOARE

Legătura între sursa producătoare de energie și consumatorul de energie se realizează prin linii electrice. Pot exista linii care „primesc" energia de la sursă (linii de intrare) și linii care „dau" energia la consumator (linii de plecare sau evacuare). Punctul de întîlnire al acestor linii reprezintă un *nod electric* (fig. 15.1, *a*), care se realizează sub formă de *bare colectoare* (fig. 15.1, *b*).

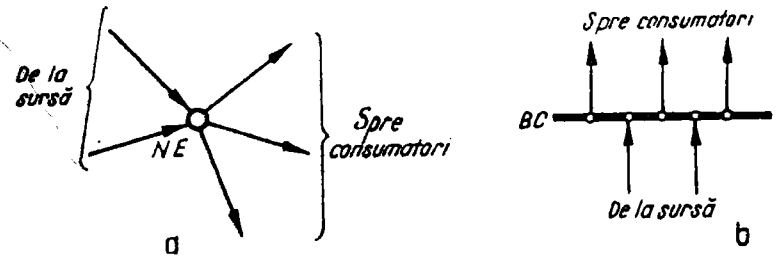


Fig. 15.1. Semnificația electrotehnică a barei colectoare.

Utilizarea barelor colectoare permite realizarea unor scheme de conexiuni cu caracteristicile dorite : siguranță în funcționare, elasticitate și economicitate.

## 1. Bare colectoare simple

În figura 15.2 este reprezentată schema de conexiuni pentru o instalație cu bare colectoare simple. Circuitele racordate la bare sînt prevăzute cu întreruptoare $I$ și cu separatoare $S$.

Pentru a se separa vizibil întreruptorul generatorului $I_1$ de tensiunea barelor colectoare, în caz de revizie sau de avarie, este prevăzut separatorul de bare $S_{B1}$, care se manevrează numai după deschiderea întreruptorului. Nu este necesar să se introducă un alt separator între întreruptor și generator, deoarece după deschiderea întreruptorului $I_1$, generatorul nu ar mai avea sens să funcționeze.

Pentru circuitele de linie sînt necesare două separatoare $S_B$ și $S_L$, care să încadreze întreruptorul, deoarece în afară de tensiunea barelor colectoare, întreruptorul poate să primească tensiune și din celălalt capăt al liniei. De obicei, separatorul de linie $S_L$ este prevăzut cu un cuțit suplimentar $S_p$, care permite legarea liniei la pămînt în caz de reparație. În felul acesta se elimină pericolul apariției pe linie a unor potențiale periculoase datorate, de exemplu, unor manevre greșite sau unor sarcini electrice. Cuțitul $S_p$ nu poate fi închis (este blocat) decît atunci cînd cuțitul principal $S_L$ este deschis ; se previne astfel o *punere accidentală a liniei la pămînt.*

Manevrele cu separatoarele în această schemă se pot face numai după ce întreruptorul respectiv a fost deschis, deci atunci cînd circuitul este fără sarcină.

*Avantajul* schemei electrice de conexiune cu un singur sistem de bare colectoare constă în faptul că este foarte economică, datorită numărului redus de aparate pe care îl necesită.

*Dezavantajele* principale ale schemei sînt următoarele :

— orice avarie sau revizie la barele colectoare sau la separatoarele de bare conduce la scoaterea din funcțiune a întregii instalații ;

— orice avarie sau revizie la întreruptorul unui circuit determină scoaterea din funcțiune a circuitului respectiv pe toată durata avariei sau a reviziei.

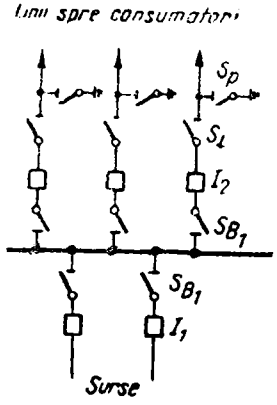


Fig. 15.2. Schemă cu bară colectoare simplă.

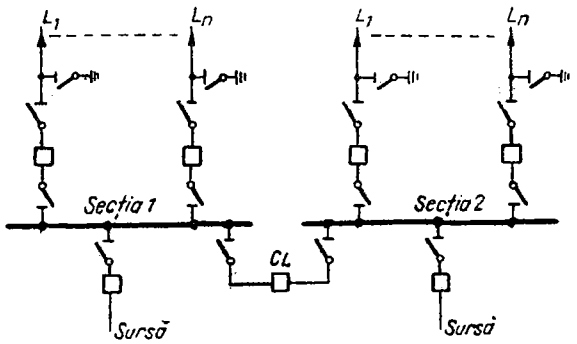



Fig. 15.3. Schemă cu bară colectoare simplă, secționată.

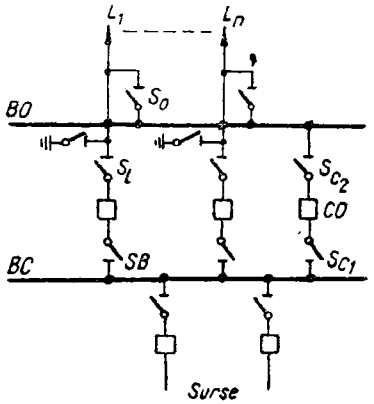



Fig 15.4. Schemă cu bară colectoare simplă și bară de ocolire.

Schema cu bare simple se aplică în special la instalațiile fără o importanță deosebită sau în cadrul unor sisteme energetice foarte puternice, cu un grad foarte înalt de interconexiune, în care se poate asigura rezerva consumatorilor și pe alte căi.

Dezavantajele schemei cu bare simple se pot remedia în parte, prin luarea următoarelor măsuri:

— secționarea barelor colectoare (fig. 15.3);

— folosirea barei de ocolire (fig. 15.4).

Schema cu bare colectoare secționate conține două secții de bare colectoare, conectate între ele printr-un *întreruptor de cuplă longitudinală CL.*

În cazul unui defect pe una dintre secții, întreruptorul de cuplă longitudinală declanșează, astfel încît defectul este localizat doar pe secția respectivă, cealaltă secție sănătoasă rămînînd în funcțiune. Reparația și revizia barei se face, de asemenea, pe secții și deci nu este necesară scoaterea din funcțiune a întregii instalații. Această soluție scumpește schema cu 3—5% față de schema nesecționată, datorită prezenței întreruptorului *CL*. Continuitatea în alimentare nu poate fi asigurată pentru toți consumatorii.

Folosirea barei de ocolire permite revizia întreruptorului de linie, fără întreruperea liniei de alimentare a consumatorului, iar în caz de avarie întreruperea durează doar pînă la înlocuirea întreruptorului de linie cu *întreruptorul de cuplă de ocolire*, notat pe figura 15.4 cu *CO*.

Manevrele de înlocuire a întreruptorului de linie *I* cu cel al cuplei de ocolire *CO*, fără întreruperea alimentării sînt următoarele:

— se închid separatoarele cuplei de ocolire $S_{c1}$ și $S_{c2}$;

— se închide întreruptorul *CO*, punîndu-se astfel sub tensiune bara de ocolire *BO*;

— se închide separatorul de ocolire $S_0$ al liniei respective;

— se deschide întreruptorul *I*;

— se deschid separatoarele $S_B$ și $S_L$ aferente acestui întreruptor.

## 2. Bare colectoare duble

În figura 15.5 este reprezentată o schemă electrică de conexiuni cu bare colectoare duble, care are un cost mai ridicat decît schema cu bare colectoare simple, dar prezintă o siguranţă mai mare în funcţionare.

Fiecare circuit este prevăzut cu un întreruptor şi cu două separatoare, aferente celor două bare colectoare. Pentru un anumit regim de funcţionare este închis numai unul dintre cele două separatoare de bare, întrucît la un moment dat circuitul respectiv poate fi conectat doar la un singur sistem de bare.

Schema reprezentată în figura 15.5 poate fi utilizată în următoarele moduri:

— un sistem de bare în funcţiune (toate circuitele instalaţiei racordate doar pe acest sistem) şi celălalt sistem de bare în rezervă;

— ambele sisteme de bare în funcţiune (circuitele împărţite între cele două sisteme de bare).

Pentru mărirea elasticităţii schemei a fost introdus întreruptorul de cuplă transversală *CT*.

Întreruptorul de cuplă transversală îndeplineşte, în principal, următoarele roluri în schemă;

— *trecerea circuitelor fără întrerupere în alimentare*, de pe un sistem de bare colectoare pe celălalt, în vederea reviziei sau în caz de avarie;

— *folosirea ca întreruptor de ocolire.*

*Manevrele de trecere a unui circuit de pe un sistem de bare pe celălalt* sînt următoarele:

— se închide întreruptorul de cuplă transversală; în cazul sistemului de bare în rezervă, prin această manevră se realizează controlul stării izolaţiei sale; în caz de defect pe acest sistem de bare protecţia prin relee deconectează întreruptorul *CT*;

— se blochează protecţia cuplei transversale;

— se închide separatorul de bare aferent noului sistem de bare; în această situaţie, ambele separatoare de bare sînt închise, creîndu-se astfel o a doua cale de curent în paralel;

— se deschide separatorul de bare aferent vechiului sistem de bare; manevra este posibilă, deşi întreruptorul circuitului nu a fost deschis, datorită existenţei celei de a doua căi de curent în paralel.

*Manevrele de ocolire a unui întreruptor din instalaţie*, folosind întreruptorul cuplei transversale drept întreruptor de ocolire se pot executa în două situaţii diferite ale întreruptorului de ocolit.

În caz de scoatere în revizie a întreruptorului respectiv se procedează astfel:

— se închide cupla transversală;

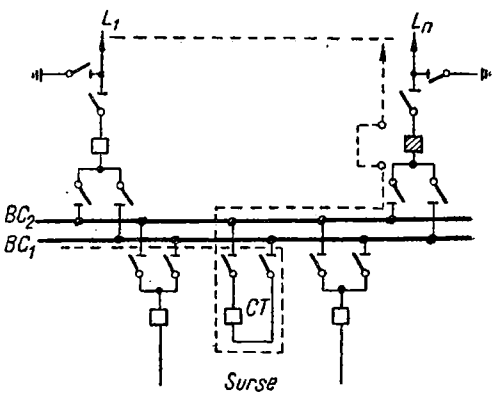



Fig. 15.5. Schemă cu bare colectoare duble.

— se eliberează un sistem de bare, trecîndu-se toate circuitele pe celălalt sistem sau se foloseşte bara de rezervă dacă există ;

— se deschide întreruptorul cuplei transversale ;

— se deschide întreruptorul de revizuit ;

— se deschid separatoarele care-l încadrează ;

— se scoate întreruptorul şi în locul lui se introduce o punte de bare conductoare ;

— se închide separatorul de bare aferent sistemului devenit de rezervă şi separatorul de linie al circuitului respectiv ;

— se închide întreruptorul de cuplă transversală şi atunci circuitul respectiv este alimentat de la bara în funcţiune, prin intermediul întreruptorului *CT* (v. traseul punctat de pe figura 15.5).

În cazul în care întreruptorul defect nu se poate deschide se procedează astfel :

— se închide cupla transversală ;

— se eliberează un sistem de bare trecîndu-se toate circuitele pe celălalt sistem, fără întrerupere sau se foloseşte sistemul de bare în rezervă dacă există ;

— se trece circuitul defect pe bara devenită de rezervă ;

— se deschide întreruptorul cuplei transversale, lăsîndu-se astfel fără alimentare circuitul defect ;

— se deschid separatoarele care încadrează întreruptorul ;

— se scoate întreruptorul din circuit şi se înlocuieşte cu o punte de bare ;

— se închid din nou separatoarele (de bare şi de linie) ;

— se închide întreruptorul cuplei transversale.

Folosirea cuplei transversale drept cuplă de ocolire prezintă următoarele dezavantaje :

— conduce la două întreruperi în alimentare (la şuntare şi apoi la deşuntarea întreruptorului) ;

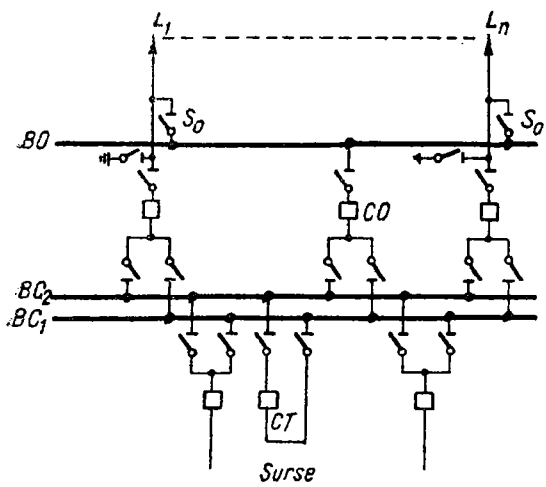



Fig. 15.6. Schemă cu bare colectoare duble şi bară de ocolire.

— necesită eliberarea unui sistem de bare ;

— blochează cupla transversală ca simplu întreruptor de circuit pe o durată mare de timp, timp în care ea nu-şi poate îndeplini celelalte funcţiuni ;

— trebuie efectuat un număr mare de manevre.

Pentru remedierea acestor dezavantaje se poate folosi o bară specială de ocolire şi un circuit distinct de cuplă de ocolire (fig. 15.6). Oportunitatea introducerii barei de ocolire este în ultimă instanţă indicată de calculul tehnico-economic.

*Dezavantajele principale* ale schemei cu bare colectoare duble sînt :

— defectarea barelor de lucru scoate din funcțiune pe un interval scurt de timp întreaga centrală ;

— folosirea separatoarelor ca aparate de manevră; orice greșeală în succesiunea manevrelor poate duce la avarii deosebit de grave ; din acest motiv sînt necesare blocaje ale separatoarelor, care complică construcția și scumpesc instalația.

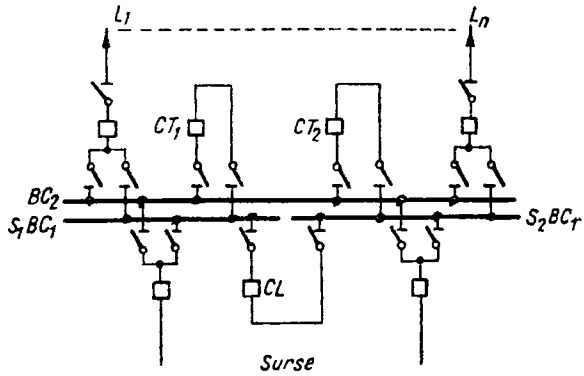



Fig. 15.7. Schemă cu bare colectoare duble, dintre care una este secționată.

Primul dezavantaj este mai puțin grav în cazul funcționării cu ambele sisteme de bare, deoarece în acest caz doar o jumătate din circuite rămîn fără alimentare un scurt interval de timp, necesar trecerii circuitelor pe bara sănătoasă.

Se mai poate adopta, de asemenea, și soluția secționării longitudinale a barelor, prin intermediul cuplelor longitudinale (fig. 15.7).

Cel de-al doilea dezavantaj este eliminat în cazul unor scheme care nu necesită prezența unor cuple transversale sau de ocolire, cum ar fi de exemplu schema cu două întreruptoare pe circuit (fig. 15.8) sau cu 1 — 5 întreruptoare pe circuit (fig. 15.9).

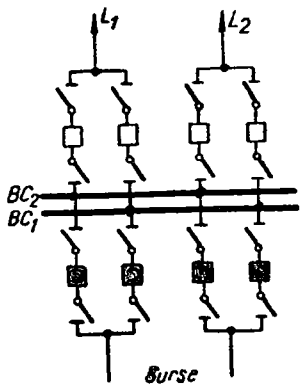



Fig. 15.8. Schemă cu bare colectoare duble și două întreruptoare pe circuit.

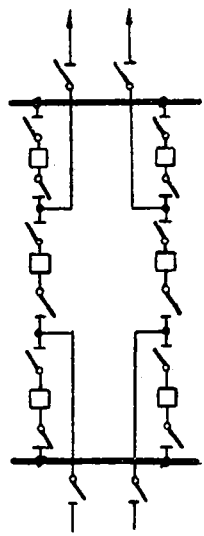


Fig. 15.9. Schemă cu 1—5 întreruptoare pe circuit.

## C. SCHEME DE CONEXIUNI PENTRU STAȚII ELECTRICE DE CENTRALE

Schemele de conexiuni ale centralelor electrice se alcătuiesc în funcție de importanța și rolul acestora în cadrul sistemelor electrice.

Centralele mici, de importanță locală, sînt situate de obicei în apropierea consumatorilor și debitează energia la tensiunea generatoarelor (6 sau 10 kV). Alte centrale debitează o parte din energie consumatorilor apropiați, la tensiunea generatoarelor, iar cealaltă parte este debitată la tensiuni mai înalte (35, 110, 220 kV), pentru alimentarea consumatorilor depărtați sau pentru interconexiunea cu sistemul electric. Există și centrale mari, plasate în apropierea surselor de energie sau depărtate de consumatori, care debitează energie numai la tensiuni înalte (110, 220, 400 kV).

### 1. Scheme electrice de conexiuni pentru centrale la care toată puterea produsă sau numai o parte este debitată la tensiunea generatoarelor

De obicei aceste scheme conțin reactoare pentru limitarea curenților de scurtcircuit.

Reactoarele pot fi montate, în principal, între secțiile de bare sau pe liniile de plecare.

În prima variantă, reactorul limitează curenții de scurtcircuit care apar în cazul scurtcircuitului pe barele colectoare sau pe liniile de plecare. La funcționarea în regim normal este necesar ca sarcinile să fie repartizate corespunzător pe secții, astfel încît transferul de energie prin reactor să fie cît mai mic. Prin aceasta se limitează pierderile de tensiune și putere în reactor. Uneori reactoarele se șuntează cu ajutorul unor întreruptoare de cuplă longitudinală pentru a nu interveni în funcționarea normală a schemei. Această soluție cu reactoare între secții nu este eficientă decît la grupuri mici.

În cazul montării reactoarelor pe linii de plecare, reactoarele de linie limitează doar curentul apărut la scurtcircuitele după reactor, deci în rețea. Reactoarele sînt parcurse în regim normal de curentul de sarcină al liniei sau al grupului de linii, deci au loc pierderi permanente de putere și tensiune. Soluția trebuie însă aplicată ori de cîte ori nu se poate limita altfel curentul de scurtcircuit pînă la o valoare la care echipamentul electric folosit pentru rețea să fie suficient de ușor și de ieftin (celule prefabricate, de tip debroșabil).

În schema din figura 15.10 este reprezentată folosirea reactoarelor de secție în sistemul liniar.

Acest sistem se folosește pentru un număr de grupuri mai mic sau cel mult egal cu trei, deoarece prezintă anumite *dezavantaje* :

— schema este nesimetrică în raport cu curenții de scurtcircuit, deoarece la un scurtcircuit pe secția 2 valorile curenților de scurtcircuit sînt mai mari decît la un scurtcircuit pe una dintre secțiile laterale ;

— la un scurtcircuit pe secția 2, întreruptoarele dintre secții declanșează, secția defectă este separată de celelalte, dar se pierde funcționarea în paralel ;

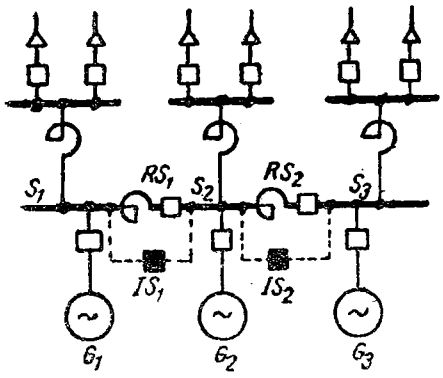



Fig. 15.10. Conectarea reactoarelor de secție în sistemul liniar de bare colectoare.

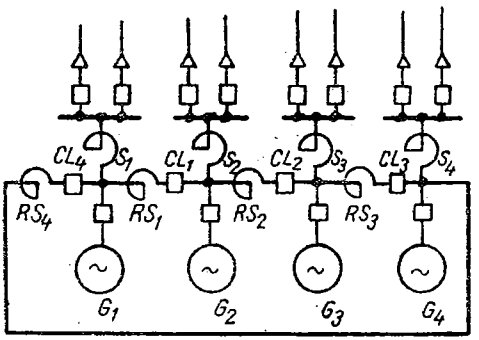



Fig. 15.11. Conectarea reactoarelor de secție în sistemul de bare colectoare în inel.

— în cazul deconectării unui generator de pe una dintre secțiile laterale, consumatorii acesteia trebuie alimentați de la celelalte secții, ceea ce conduce la o circulație mare de putere prin reactoare, deci la pierderi mari. Se pot folosi pentru remedierea acestei situații întreruptoarele de șuntare a reactoarelor IS.

O parte din aceste dezavantaje sînt remediate în schema de conectare a reactoarelor de secție în inel (fig. 15.11).

În anumite situații este necesară o ridicare a tensiunii de distribuție a puterii la o valoare mai mare decît tensiunea generatoarelor ca de exemplu, în cazul alimentării unor consumatori îndepărtați sau în vederea interconectării centralei cu rețeaua de înaltă tensiune. Atunci apar instalații de distribuție de 35 — 330 kV, legate de instalația de 6 — 10 kV, prin intermediul unor transformatoare de legătură cu două sau trei înfășurări. Acestea se aleg astfel încît să asigure transferul necesar de energie în ambele sensuri, chiar în cazul avarierii unui generator sau transformator de legătură al schemei (fig. 15.12).

Uneori, dacă nivelul de scurtcircuit pe barele de 6—10 kV este la limită sau dacă puterile generatoarelor sînt prea mari și deci și valoarea tensiunii lor la borne este mai ridicată de 6—10 kV, apare necesară legarea unora dintre generatoare bloc cu transformatoarele, la barele de ten-

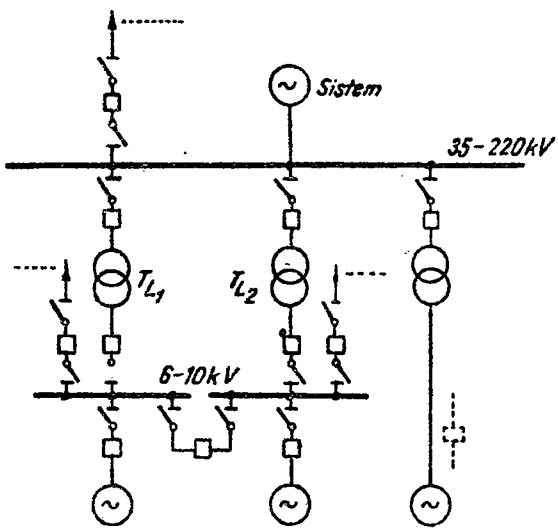



Fig. 15.12. Centrală cu instalații de distribuție la tensiunea generatoarelor și cu o altă instalație de distribuție la tensiune mai înaltă.

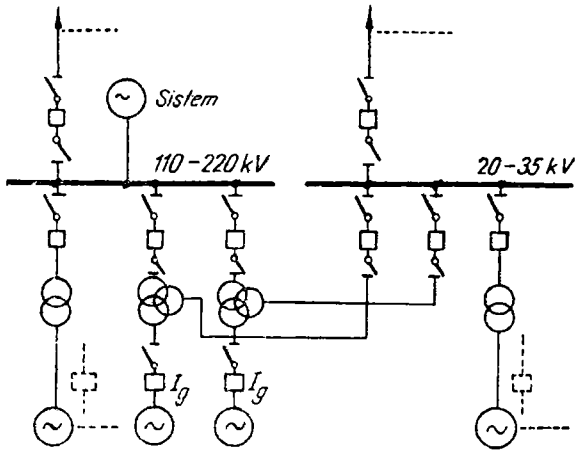



Fig. 15.13. Folosirea transformatoarelor de legătură între instalațiile de distribuție.

siune mai înaltă a instalației (fig. 15.12). Întreruptorul de la bornele generatorului se prevede numai dacă puterea generatorului nu este prea mare (< 100 MW).

### 2. Scheme electrice de conexiuni pentru centrale la care distribuția puterii se face la tensiuni mai mari decît cea a generatoarelor

Dacă una dintre tensiunile de distribuție este mai mică decît 110 kV, atunci legătura între instalațiile de distribuție se face prin intermediul transformatoarelor de legătură cu două sau trei înfășurări (fig. 15.13).

În cazul transformatoarelor cu trei înfășurări apare întreruptorul $I_g$ care permite funcționarea mai sigură și mai elastică a schemei.

Dacă tensiunile de distribuție ale instalației sînt mai mari, sau cel puțin egale cu 110 kV, atunci legătura între instalații se poate realiza mult mai economic prin autotransformatoare a căror înfășurare terțiară poate sau nu să fie folosită (fig. 15.14).

De obicei, legătura între cele două tensiuni se asigură prin două unități trifazate de legătură ; în anumite situații însă este folosită și soluția cu patru unități monofazate, cîte una pentru fiecare fază și una pentru rezervă.

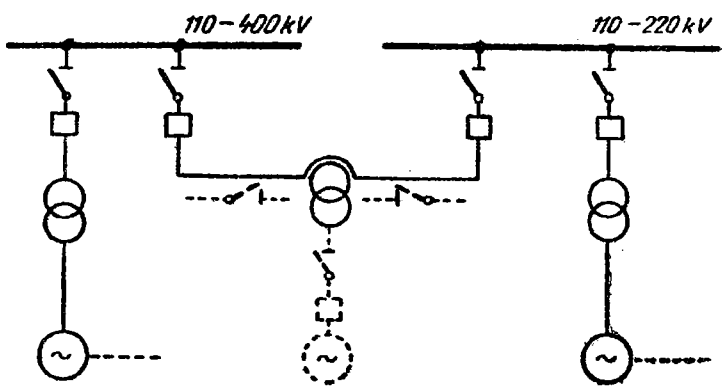



Fig. 15.14. Folosirea autotransformatoarelor de legătură între instalațiile de distribuție.

## D. SCHEME ELECTRICE DE CONEXIUNI PENTRU STAȚII DE REȚEA

Stațiile electrice de rețea pot fi împărțite după rolul lor, în *stații de transformare*, care coboară de obicei tensiunea prin intermediul transformatoarelor și *stații de conexiuni*, care primesc și distribuie energia electrică la aceeași tensiune și frecvență.

În drumul ei spre consumator, energia electrică traversează stațiile de rețea ale sistemului electric, de regulă, în succesiunea indicată în figura 15.15.

Stațiile de înaltă tensiune sînt alimentate de rețelele principale ale sistemului electric și alimentează un întreg ansamblu de consumatori, răspîndiți în regiunea înconjurătoare.

Stațiile de medie tensiune sînt alimentate din rețelele care se dezvoltă de la stațiile de înaltă tensiune sau uneori chiar din rețelele principale ale sistemului electric. Ele au o importanță locală și alimentează consumatori mari cum sînt orașele, întreprinderile industriale etc.

Numărul și puterea transformatoarelor din aceste stații se aleg pe baza unor calcule tehnico-economice. În general, se adoptă soluția cu unul singur sau cu două transformatoare astfel alese ca putere, încît dacă unul dintre cele două transformatoare s-ar avaria, celălalt, eventual supraîncărcat, să poată asigura tot tranzitul de putere.

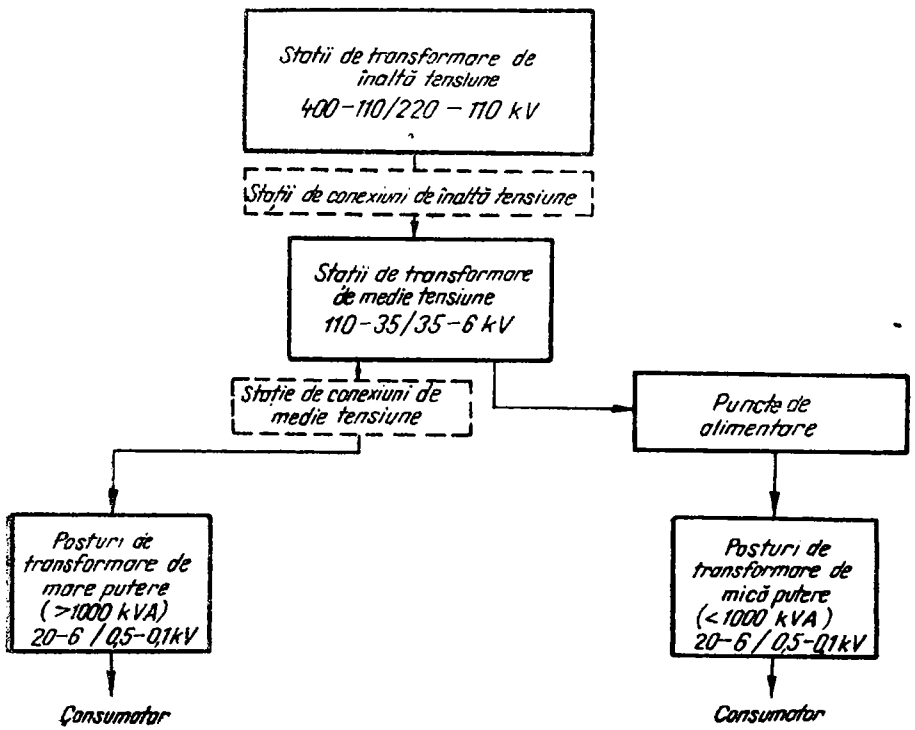

Stații de transformare de înaltă tensiune
400-110/220 - 110 kV
Stații de conexiuni de înaltă tensiune
Stații de transformare de medie tensiune
110-35/35-6 kV
Stație de conexiuni de medie tensiune
Puncte de alimentare
Posturi de transformare de mare putere (>1000 kVA) 20-6 / 0,5-0,1kV
Posturi de transformare de mică putere (<1000 kVA) 20-6 / 0,5-0,1kV
Consumator
Consumator

Fig. 15.15. Tipuri de stații de rețea.

În figura 15.16 este reprezentată schema electrică a unei staţii de înaltă tensiune, la care legătura între cele două tensiuni este asigurată prin două transformatoare cu două înfăşurări. Schema electrică la tensiunea de 220—400 kV a fost adoptată cu două bare colectoare şi două întreruptoare pe circuit. Schema la tensiunea mai coborîtă a instalaţiei a fost aleasă cu două bare colectoare şi bară de ocolire.

În figura 15.17 este reprezentată schema electrică a unei staţii de transformare de medie tensiune. Deoarece alimentarea cu energie se face doar pe partea de tensiune mai înaltă a transformatoarelor cu trei înfăşurări, nu a mai fost necesară montarea unui separator pe această parte a transformatoarelor de legătură, întrucît în cazul unui defect la tensiunea înaltă întreaga instalaţie este scoasă de sub tensiune.

O soluţie economică utilizată pentru alimentarea consumatorilor industriali sau urbani importanţi (consumatori chimici, siderurgici, fabrici de ciment, industrii constructoare de maşini, centre urbane cu mare densitate de sarcină electrică etc.) este staţia de racord adînc (SRA). SRA se alimentează din barele staţiilor de 110—220 kV de conexiune sau transformare ale sistemului energetic şi sînt dimensionate în ideea rezervării 100% atît a racordurilor cît şi a unităţilor trafo.

Transformatoarele de forţă amplasate aproximativ în centrul de greutate electric al consumatorului (de unde şi denumirea de „racord adînc") se leagă tip bloc cu racordul de înaltă tensiune din sistem : linie, transformator, fără bare colectoare pe partea de înaltă tensiune şi fără alte legături între căile de alimentare.

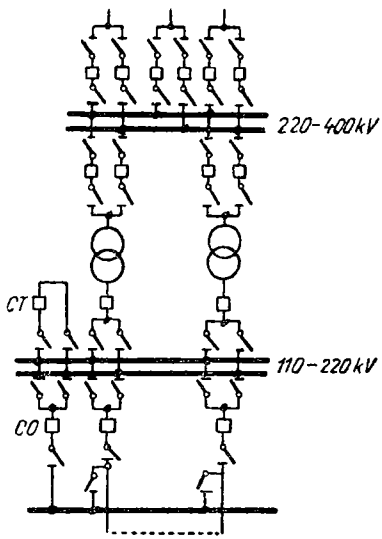



Fig. 15.16. Schema unei staţii de înaltă tensiune cu două transformatoare, cu două înfăşurări.

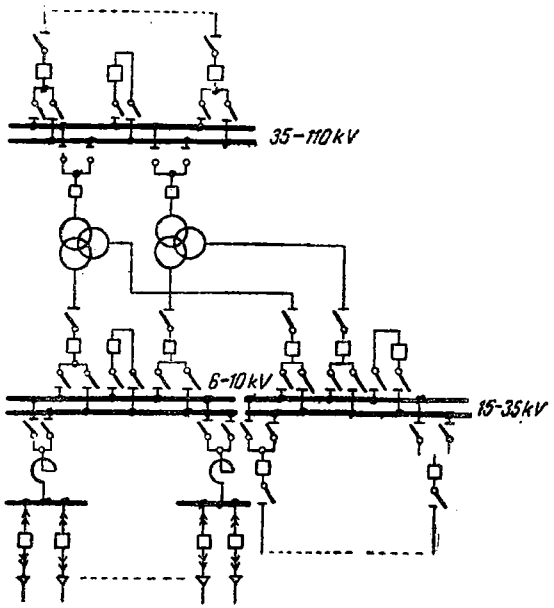



Fig. 15.17. Schema unei staţii de medie tensiune cu două transformatoare, cu trei înfăşurări.

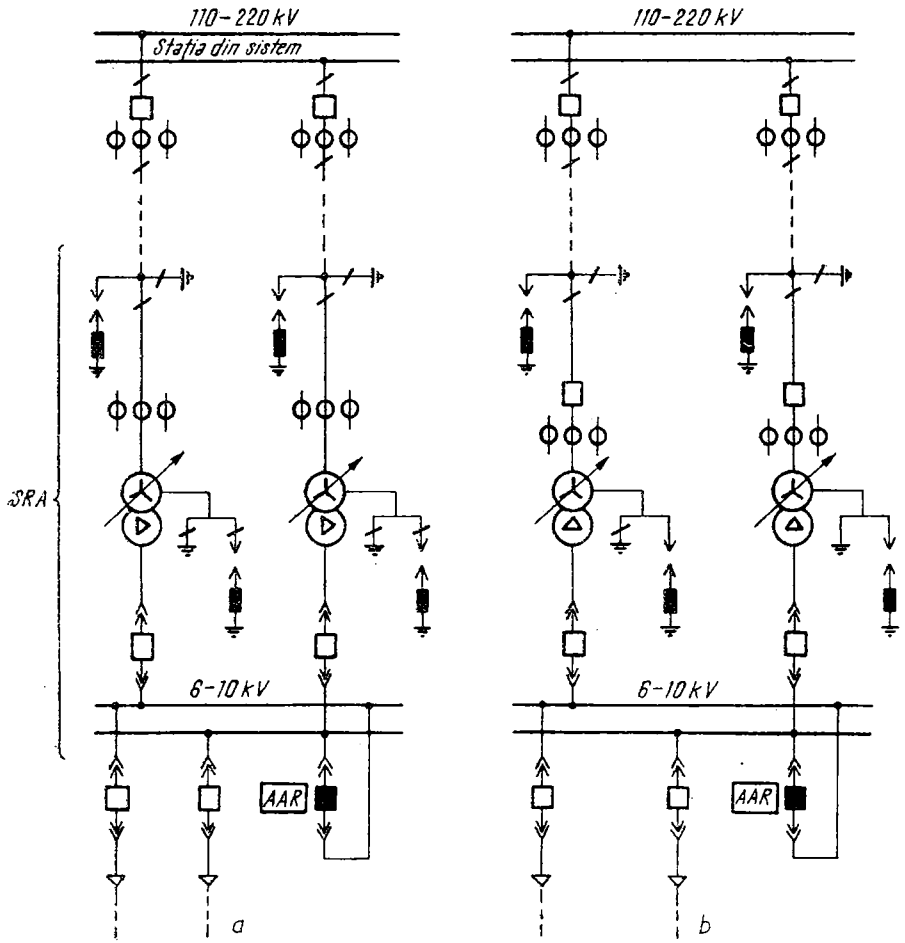



Fig. 15.18. Schema stației fără întreruptor (*a*) și cu întreruptor (*b*).

Dintre variantele cel mai des folosite se remarcă două, și anume: fără întreruptoare pe blocul linie-transformator, respectiv cu întreruptoare pe blocul linie-transformator de 110—220 kV (fig. 15.18).

În general, ambele variante prezintă separatoare de linie ca elemente de comutație primară, descărcătoare cu rezistență variabilă și transformatoare de măsură de curent.

În cazul ieșirii din funcțiune a unuia dintre racorduri, secția de bare respectivă de medie tensiune cu consumatorii săi se cuplează printr-o automatizare de tip *AAR* pe secția cu racordul în funcțiune, care este dimensionat să preia și această sarcină suplimentară.

Un calcul tehnico-economic care ține seamă de încadrarea reală a *SRA* în sistem, precum și de consecințele întreruperii în alimentarea cu energie electrică a consumatorului, va decide între o variantă sau alta.

Instalația de înaltă tensiune a *SRA* de obicei se realizează fără personal de exploatare permanent. Comenzile de regim (cuplare, decuplare, suprave-

gherea funcționării *SRA*) se efectuează de la stația principală de 110—220 kV din sistemul energetic național printr-un fir pilot. Tot prin firul pilot se transmit semnale preventive referitoare la funcționarea transformatoarelor coborîtoare (semnale gaze, supratemperaturi) a protecției întreruptoarelor. În caz de avarie în transformator sau în partea de înaltă tensiune a *SRA* se trimit impulsuri de declanșare către stația principală din sistem tot prin fir pilot.

Se poate renunța la firul pilot prin agravarea voită a defectului din *SRA* de către un separator de scurtcircuitare montat în locul celui de linie din schema bloc linie-transformator.

O soluție intermediară o reprezintă montarea de siguranțe fuzibile de înaltă tensiune în locul întreruptoarelor din *SRA* cu limitarea tensiunii superioare la 110 kV.

## E. SCHEME ELECTRICE DE CONEXIUNI ALE SERVICIILOR INTERNE DE CURENT ALTERNATIV DIN CENTRALE ȘI STAȚII

Serviciile interne de curent alternativ reprezintă totalitatea mecanismelor și instalațiilor ajutătoare care contribuie la buna funcționare și deservire a instalațiilor principale din centrale și stații.

### 1. Scheme electrice de conexiuni ale serviciilor interne de curent alternativ din centrale

Serviciile interne trebuie considerate drept consumatorul cel mai exigent al centralei electrice.

Energia electrică necesară serviciilor interne poate fi asigurată de la diferite surse de alimentare, cum sînt:

— agregatele turbogeneratoare sau hidrogeneratoare destinate în mod special alimentării serviciilor interne;

— generatoare auxiliare montate coaxial cu generatoarele principale ale centralei;

— generatoarele principale ale centralei;

— rețeaua sistemului electric.

O dată cu perfecționarea metodelor de protecție a rețelei exterioare, aceasta a devenit suficient de sigură și de aceea s-a renunțat, în general, la metoda folosirii unor agregate independente sau generatoare auxiliare. În prezent, serviciile interne se alimentează mai ales de la generatoarele principale ale centralei sau din rețeaua sistemului.

Consumatorii de servicii interne se alimentează, de regulă, de la două trepte de tensiune alternativă:

— treapta de tensiune înaltă (de obicei 6 kV) pentru motoare de puteri mari (peste 150 kV) sau pentru alimentarea în condiții tehnico-economice mai favorabile a unor grupe de receptoare mai mici prin transformatoare coborîtoare;

— treapta de tensiune joasă (de obicei 380/220 V) pentru restul consumatorilor.

La alcătuirea schemelor electrice pentru alimentarea serviciilor interne se ține seamă de puterea, combustibilul centralei, depărtarea de consumator, precum și de o serie de alte considerente cum ar fi cele enunțate în continuare:

— *alimentarea serviciilor interne* trebuie să fie asigurată cel puțin de la două surse, una normală și cealaltă de rezervă. Deconectarea uneia dintre surse trebuie să nu provoace întreruperea alimentării serviciilor interne;

— *barele principale ale serviciilor interne* se secționează dacă puterea grupurilor este, de regulă, peste 100 MW sau dacă numărul consumatorilor este prea mare.

Consumatorii de servicii interne aferenți unui bloc se grupează pe secțiile interne de bloc, egale în general ca număr cu numărul de cazane. Celelalte motoare, care fac parte din serviciile interne generale ale centralei, se grupează pe secții de servicii generale sau se repartizează pe diferite secții de bloc, astfel încît să se obțină o încărcare cît mai uniformă a acestora.

Barele colectoare ale instalațiilor de distribuție pentru servicii interne, sînt, în general, simple.

— *Autopornirea motoarelor asincrone* trebuie să fie asigurată după îndepărtarea avariilor. În acest scop trebuie asigurat un nivel corespunzător de tensiune pe barele de servicii interne, ceea ce se poate realiza prin următoarele procedee:

— folosirea protecției rapide și a dispozitivelor de anclanșare automată a rezervei (*AAR*);

— folosirea regulatoarelor automate de tensiune (*RAT*) pentru a stabiliza cît mai bine tensiunea pe barele serviciilor interne;

— introducerea reactoarelor și folosirea transformatoarelor cu puteri reduse (care au reactanțe mari) pentru limitarea puterilor de scurtcircuit.

În figura 15.19 este reprezentată schema de alimentare a serviciilor interne pentru o centrală termoelectrică, avînd distribuție și la tensiunea

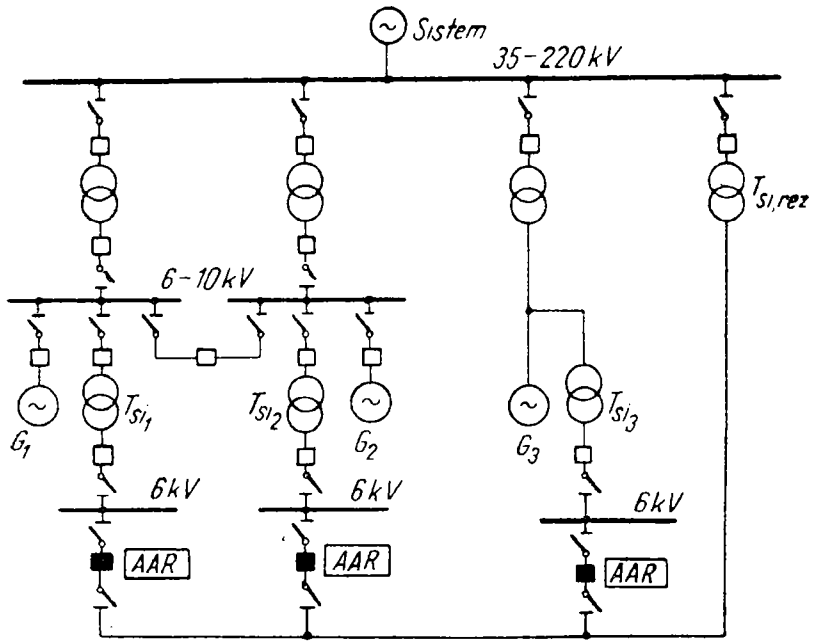



Fig. 15.19. Schema de alimentare a serviciilor interne aferente unei centrale termoelectrice.

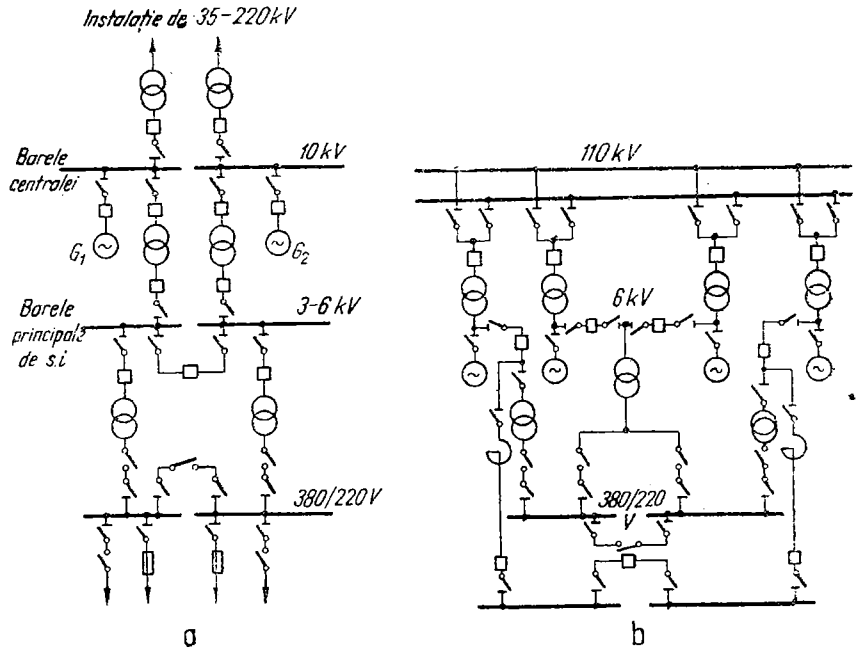



Fig. 15.20. Scheme de alimentare a serviciilor interne aferente unor centrale hidroelectrice :
*a* — cu bare la tensiunea generatoarelor ; *b* — fără bare la tensiunea generatoarelor.

generatoarelor. Serviciile interne ale grupurilor conectate direct la bare sînt alimentate de la barele respective, iar cele ale grupului legat bloc cu transformatorul — din derivația blocului. Sursa de rezervă se conectează la o tensiune suficient de sigură, care în acest caz s-a considerat a fi tensiunea de interconexiune cu sistemul.

În figura 15.20 sînt reprezentate două scheme de alimentare a serviciilor interne pentru centrale hidroelectrice, cu și fără bare la tensiunea generatoarelor.

Deoarece consumul propriu al centralelor hidroelectrice este de aproximativ 0,5 — 1,5% din puterea instalată, deci cu mult mai mic decît la cele termoelectrice, asigurarea rezervei se face prin supradimensionarea surselor normale. La deconectarea uneia dintre surse, cealaltă trebuie să asigure alimentarea tuturor consumatorilor.

## 2. Scheme electrice de conexiuni ale serviciilor interne de curent alternativ din stații

Serviciile interne ale stațiilor electrice se încadrează în ansamblul instalațiilor componente ale acestora. Complexitatea și importanța lor crește proporțional cu puterea și importanța stației (fig. 15.21).

Consumul de energie electrică necesar alimentării serviciilor interne ale stațiilor este relativ mic.

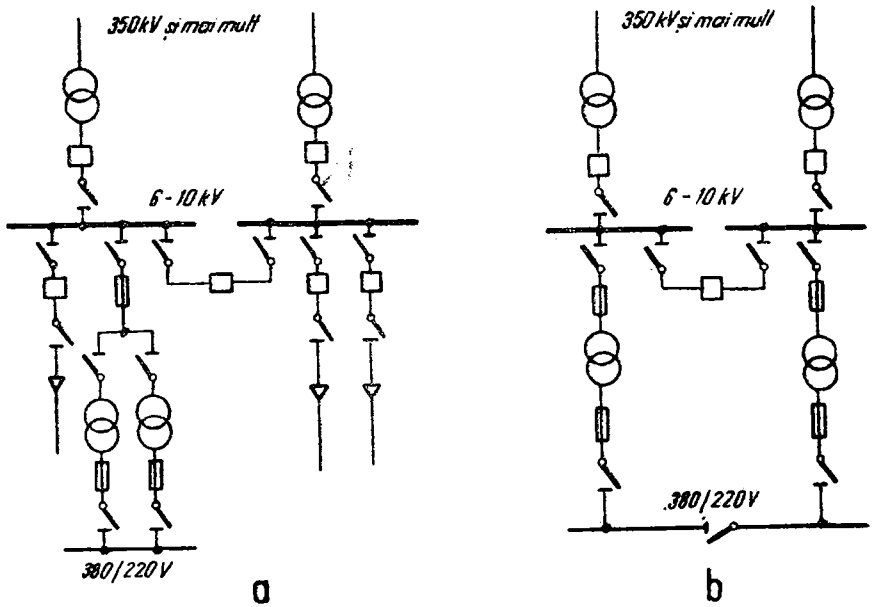



Fig. 15.21. Scheme de alimentare a serviciilor interne la stații electrice :
*a* — cu transformotor conectat la o singură secție ; *b* — cu transformator conectat la secții diferite.

În stațiile electrice cu tensiunea secundară de 380/220 V, serviciile interne se alimentează direct de la barele de joasă tensiune ale stației.

În stațiile electrice de medie tensiune de putere mică, cu tensiunea primară de 35 kV și cu tensiunea secundară de 6 sau 10 kV, se folosește un singur transformator pentru alimentarea serviciilor interne.

În stațiile electrice de mare putere și înaltă tensiune, pentru alimentarea serviciilor interne se folosesc două transformatoare, care se conectează la barele cu tensiunea de 6 — 10 kV.

Capitolul 16

# CONSTRUCȚIA STAȚIILOR ELECTRICE

Alegerea dispoziției generale precum și a modului de realizare a stațiilor electrice este determinată atît de schema electrică de conexiuni, cît și de spațiul disponibil pentru amplasarea stației.

În afara acestor două importante elemente care stau la baza construcției și dispunerii tuturor aparatelor și echipamentelor stației, stațiile electrice trebuie astfel concepute încît să îndeplinească în final următoarele condiții principale:

— să prezinte o bună siguranță în funcționare;
— să permită întreținerea ușoară a instalației;
— să asigure securitatea personalului de exploatare și întreținere;
— construcția și exploatarea instalației să fie cît mai economică.

Dacă felul construcției stațiilor electrice pot fi *exterioare*, dacă aparatajul și echipamentul este dispus în exterior fiind supus intemperiilor, și *interioare*, dacă aparatajul și echipamentul este instalat în interiorul unei construcții închise, special amenajate.

Stațiile electrice interioare se folosesc, de regulă, pentru tensiuni pînă la 20 — 35 kV inclusiv, dar se pot realiza stații electrice interioare și la tensiuni mai mari, de exemplu la 110, 220 și chiar la 400 kV, atunci cînd condițiile de amplasare generală a acestora impun acest lucru.

Spre exemplificare, atunci cînd este necesară amplasarea unei stații de înaltă tensiune în zone intens populate și circulate execuția lor trebuie realizată în interior.

## A. MĂSURI PENTRU REALIZAREA CONDIȚIILOR PRINCIPALE CE SE IMPUN ÎN PROIECTAREA ȘI CONSTRUCȚIA STAȚIILOR

**Siguranța în funcționare.** Prin soluțiile adoptate din punct de vedere constructiv se poate influența favorabil sau nefavorabil gradul de siguranță în funcționarea instalațiilor atît în regim normal, cît și în condițiile apariției unor cauze perturbatoare cum ar fi: solicitări anormale ale izolației, apariția arcului electric, solicitări accidentale mecanice, incendii etc.

## 1. Măsuri de menținere a nivelului de izolație necesar

Mediul izolant cel mai folosit este aerul atmosferic care prezintă avantajul de a putea fi obținut fără cheltuieli și în cantități nelimitate.

Asigurarea nivelului de izolare necesar între părțile aflate sub tensiune se obține prin respectarea distanțelor minime impuse de norme. Prescripțiile din țara noastră stabilesc pentru distanțele minime de izolare în aer între bare rigide sau piese fixe ale diferitelor faze aflate sub tensiune $d_f$, precum și între acestea și piesele legate de pămînt $d_{fo}$, valorile indicate în tabelul 16.1.

*Tabelul 16.1*

**Distanțe minime de izolare în aer între părți fixe sub tensiune**

| Tensiunea nominală a instalației (valoare efectivă) kV | Tensiunea de ținere la impuls undă 1,2/50 μs pozitivă și negativă, conform STAS 6489-67 (valoare de vîrf) kV | Distanțe între faze $d_f$ mm | | Distanțe între faze și pămînt $d_{fo}$ mm | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | exterior | interior | exterior | interior |
| 5 | 45 | 220 | 70 | 200 | 65 |
| 6 | 60 | 200 | 100 | 200 | 99 |
| 10 | 75 | 220 | 130 | 200 | 120 |
| 20 | 125 | 330 | 200 | 300 | 180 |
| 35 | 195 | 400 | 300 | 400 | 290 |
| 60 | 325 | 700 | 450 | 650 | 450 |
| 110 | 450 | 1 000 | | 900 | |
| 220 | 900<br>825—750 | 2 000 | | 1 800 | |
| 400 | 1 550<br>1 675—1 425—1 300 | 3 400 | | 3 100 | |

Notă: a) Instalații cu tensiuni de 110 kV și mai mult sînt considerate funcționînd cu neutrul legat direct la pămînt.

b) Pentru instalațiile cu tensiunea nominală pînă la 60 kV inclusiv, amplasate în interior, s-au adoptat distanțe de izolare puțin mai mici decît la cele din exterior.

c) Pentru distanțele de izolare între faze $d_{fo}$ s-au adoptat valori mai mari cu circa 10% decît între fază și pămînt $d_{fo}$, întrucît consecințele unui scurtcircuit între faze sînt mult mai mari decît la scurtcircuitele fază-pămînt.

## 2. Măsuri de limitare a extinderii arcului electric

În cazul în care arcul electric se deplasează prin acțiunea cîmpurilor magnetice sau a temperaturii există pericolul perturbării funcționării unor părți mari din instalații sau chiar a întregii instalații. Prin măsurile constructive corespunzătoare se poate evita acest pericol.

În instalațiile electrice de tip interior se recurge la separări din materiale rezistente mecanic și la temperaturi înalte (plăci sau pereți din beton, ipsos, azbociment etc.) care se dispun:

— între celulele alăturate;

— între barele colectoare și restul echipamentului din celule (fac excepție celulele instalațiilor posturilor de transformatoare în care acest perete poate să lipsească);

— în interiorul celulelor, în funcție de mărimea curenților de scurtcircuit;

— între secţiile de bare colectoare reprezentînd sursa de alimentare principală şi de rezervă a unor consumatori de importanţă deosebită ;

— între grupuri de celule în cazul unor instalaţii cu număr mare de celule, chiar dacă barele colectoare nu sînt secţionate.

Primele trei soluţii se impun cu precădere la instalaţiile cu tensiune de serviciu sub 60 kV. La tensiunea de serviciu mai ridicată, distanţele de izolare sînt suficiente şi pericolul propagării arcului mai redus.

La instalaţiile electrice în aer liber din cauza intervalelor mari între părţile aflate sub tensiune şi datorită acţiunii favorabile a curenţilor de aer dezvoltarea arcului electric este redusă. De aceea, nu se justifică luarea unor măsuri similare cu cele luate la instalaţiile de tip interior.

Totuşi, în unele situaţii sînt posibile extinderi ale arcului electric în instalaţiile în care sînt concentrate părţile vitale ale instalaţiilor în zona în care poate apărea arcul electric.

### 3. Măsuri de reducere a posibilităţilor de avarie din cauza solicitărilor accidentale mecanice

Solicitările mecanice asupra instalaţiilor electrice se datorează unor factori diferiţi cum ar fi factori electrici, termici, climatici, seismici etc.

În vederea reducerii la minimum a acestor situaţii se iau următoarele măsuri :

— separatoarele se recomandă a fi dispuse astfel încît să nu se favorizeze comutarea lor accidentală sub acţiunea forţelor mecanice ;

— ruperile de conductoare sau de lanţuri de izolatoare trebuie să nu conducă la extinderea avarici ;

— din punctul de vedere al uzurii mecanice izolatoarele de porţelan se comportă mai bine la solicitări de compresiune decît la încovoiere. În cazul apariţiei forţelor electrodinamice modul de susţinere al barelor indicat în figura 16.1, *a* este mai avantajos cel din figura 16.1, *b*.

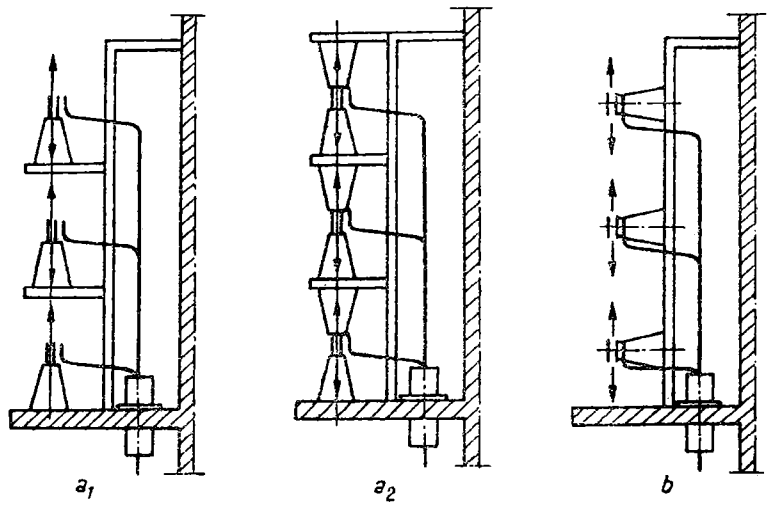



Fig. 16.1. Dispoziţii ale barelor colectoare la care izolatoarele sînt solicitate avantajos (variantele *a*) sau dezavantajos (varianta *b*).

## 4. Măsuri de reducere a pericolului de incendiu

Dezvoltarea incendiilor produse într-o instalație electrică poate fi limitată prin următoarele măsuri:

— materialele folosite pentru elementele de rezistență mecanică și de separare trebuie realizate din materiale ignifuge cu un grad ridicat de rezistență la foc;

— obiectele care prezintă pericol de incendiu, cum sînt transformatoarele de putere cu ulei, se amplasează la distanțe mari față de clădirile învecinate, în cazul în care sînt amplasate în exterior. În interiorul clădirilor transformatorul se montează în încăperi separate (boxe) construite din materiale ignifuge și amplasate, de regulă, numai la parter;

— amenajările pentru localizarea incendiului se realizează constructiv prin separările antifoc și sistemele de evacuare a uleiului de la transformatoarele de putere cu ulei;

— pentru stingerea rapidă a unui eventual incendiu la transformatoarele de mare putere se prevăd, de regulă, instalații fixe de stins incendiu.

## 5. Securitatea personalului de exploatare și întreținere

Mijloacele constructive prin care se realizează condițiile de securitate pentru personalul de exploatare constau în general în dispunerea la distanțe inaccesibile (de protecție) a părților aflate sub tensiune, sau folosirea de separări de protecție.

Astfel, se prevăd utilizarea de grilaje și învelișuri metalice, legate la pămînt, utilizarea de pereți despărțitori între aparate și bare colectoare, pentru a permite repararea lor separată și fără pericol etc.

Distanțele minime admisibile pentru instalațiile exterioare și interioare sînt reprezentate în figura 16.2, *a* și 16.2, *b* și în tabelele 16.2 și 16.3.

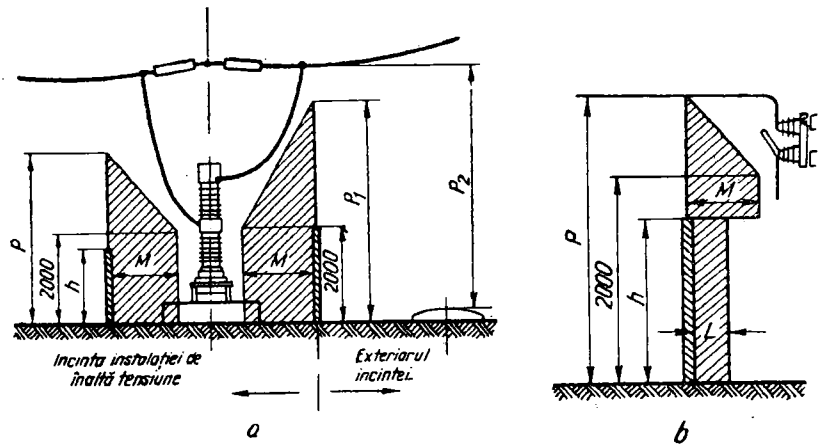



Fig. 16.2. Zonele de securitate (părțile haşurate) pentru situații caracteristice în vecinătatea îngrădirilor de protecție la instalații de tip exterior (*a*) și interior (*b*).

*Tabelul 16.2*

**Dimensiunile zonelor de securitate, în mm, la instalaţiile de tip exterior**

| Dimensiunile spaţiului de securitate | | Tensiunea nominală a instalaţiei, kV | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10 | 20 | 35 | 60 | 110 | 220 | 400 |
| Îngrădire în incintă | $P$ | 2 900 | 3 000 | 3 100 | 3 350 | 3 600 | 4 500 | 5 800 |
| | $M$ (pentru bariere $h$= 1 500 mm) | 950 | 1 050 | 1 150 | 1 400 | 1 650 | 2 550 | 3 850 |
| | $M$ (pentru plase $h$= 2 000 mm) | 300 | 400 | 500 | 750 | 1 000 | 1 900 | 3 200 |
| Împrejmuire generală | $P_1$* | 4 500 | 4 500 | 5 000 | 5 000 | 5 000 | 6 000 | 7 000 |
| | $M$ (pentru gard plin sau plasă $h$= 2 000 mm) | 2 200 | 2 300 | 2 400 | 2 650 | 2 900 | 3 800 | 5 100 |

* Corespunde situaţiilor în care ieşirile liniilor aeriene intersectează locuri greu accesibile pentru transporturi (în cazul în care ieşirile liniilor aeriene intersectează drumuri sau locuri unde sînt posibile manipulări se vor respecta distanţele $P_2$ din normativul pentru construcţia liniilor electrice aeriene).

*Tabelul 16.3*

**Dimensiunile zonelor de securitate, în mm, la instalaţiile de tip interior**

| Dimensiunea spaţiului de securitate | | Tensiunea nominală a instalaţiei, kV | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 3 | 6 | 10 | 20 | 35 | 60 | 110 | 220 |
| $P$ | | 2 500 | 2 500 | 2 500 | 2 700 | 2 750 | 3 500 | 3 500 | 4 200 |
| Perete plin | $L$ ($h$= 1 800) | 100 | 120 | 150 | 210 | 320 | 530 | 930 | 1 850 |
| | $M$ ($h$= 1 800) | 170 | 190 | 220 | 280 | 390 | 600 | 1 000 | 1 900 |
| | $L$= $M$ (1 200<$h$<1 080) | 820 | 840 | 870 | 930 | 1 050 | 1 250 | 1 650 | 2 550 |
| Plasă | $L$= $M$ ($h$= 1 800) | 170 | 190 | 220 | 280 | 390 | 600 | 1 000 | 1 900 |
| | $L$= $M$ (1200<$h$<1 800) | 820 | 840 | 870 | 930 | 1 050 | 1 250 | 1 650 | 2 550 |
| Barieră | $L$= $M$ ($h$= 1 200) | 820 | 840 | 870 | 930 | 1 050 | 1 250 | 1 650 | 2 550 |

### 6. Uşurarea deservirii instalaţiei de către personalul de exploatare şi întreţinere

Pentru uşurarea deservirii instalaţiilor electrice trebuie luate unele măsuri ca : prevederea unor coridoare suficient de largi şi luminoase pentru acces, aşezarea dispozitivelor de acţionare manuală în locurile cele mai potrivite, asigurarea unei supravegheri comode a diferitelor părţi din instalaţie, introducerea mecanizării şi automatizării, respectarea dimensiunilor necesare ale trecerilor pentru transportul echipamentului la montaj şi reparaţii etc.

### 7. Economicitatea soluţiei adoptate

Economicitatea soluţiei adoptate depinde pe de o parte de costul de investiţii şi pe de altă parte de volumul cheltuielilor de exploatare ocazionate de operaţiile de întreţinere, revizii şi reparaţii.

Economicitatea investiţiilor se realizează prin alegerea corectă a echipamentului la proiectare şi prin organizarea corespunzătoare a lucrărilor de construcţie.

Reducerea volumului cheltuielilor de exploatare se realizează prin simplificarea operaţiilor de exploatare şi întreţinere.

Principalele căi pentru reducerea investiţiilor sînt următoarele : limitarea spaţiilor ocupate, limitarea volumului lucrărilor de construcţie, limitarea lungimii căilor de curent şi a numărului de izolatoare, eşalonarea raţională a etapelor de realizare a investiţiilor, soluţia constructivă adoptată să conducă la reducerea cheltuielilor de exploatare.

## B. CONSTRUCŢIA STAŢIILOR ELECTRICE EXTERIOARE. CRITERII CE SE IAU ÎN CONSIDERAŢIE LA CONSTRUCŢIA STAŢIILOR ELECTRICE EXTERIOARE

În general, pe măsură ce creşte tensiunea instalaţiilor creşte şi distanţa între faze, deci cresc pasul celulei şi costul celulei.

La unele aparate însă diferenţa constructivă pentru montarea lor în interiorul clădirilor şi pentru montarea lor în exteriorul clădirilor este foarte mică.

Astfel, la transformatoare este necesară doar asigurarea izolaţiei fazelor şi asigurarea contra pătrunderii apei, mai ales că transformatoarele funcţionează mai bine în exterior decît în interior (datorită faptului că în exterior transformatorul este mai bine ventilat).

Întreruptoarele cu volum mare de ulei au deschis drumul pentru montajul în exterior la înaltă tensiune, schimbarea constructivă fiind mărirea distanţei dintre cele trei băi monofazate cu ulei şi schimbarea izolatoarelor.

La reductoarele de măsură a fost necesară numai schimbarea izolatoarelor.

Pătrunderea apei în transformatoare şi la reductoarele de măsură poate avea loc numai pe la sticla de nivel.

Separatoarele se pot monta foarte bine în exterior cu o singură condiţie specială şi anume să se poată manevra şi în caz de polei. În aceste

cazuri se folosesc separatoare care la prima mişcare a cuţitului mobil întîi rup gheaţa formată şi apoi deschid contactul electric. Această construcţie se realizează la separatoarele folosite la tensiunea de 35 — 110 kV.

## 1. Realizarea instalaţiei

Aparatele grele se aşază la sol pe fundaţii de beton cu şine de rulare. Aparatele sînt fixate la locurile lor prin brăţări şi bride opritoare.

Pentru transportul aparatelor grele de la un panou la altul sau la atelierul de revizie se realizează o cale de rulare, iar pentru aparatele foarte grele, care necesită încărcarea lor în vagoane, calea de rulare se realizează sub formă de cale ferată. Aparatele uşoare se transportă cu camionul pe un drum obişnuit.

Pentru montarea aparatelor care trebuie amplasate la o înălţime oarecare şi pentru montarea barelor colectoare se folosesc construcţii din stîlpi şi grinzi. Acestea pot fi de două feluri:

— construcţii metalice: grindă cu zăbrele, grinzi din profile pline (T, L, U), din tuburi de metal;

— beton armat care poate fi simplu, pretensionat sau precomprimat şi în ultimul timp vibrat sau centrifugat, ultima variantă fiind preferată întrucît prezintă o calitate mai bună a betonului şi o eficienţă mai mare a fabricaţiei.

*Construcţiile metalice* sînt mai uşoare şi staţia se poate extinde mai uşor prin adăugarea de panouri.

Principalul dezavantaj al construcţiilor metalice îl constituie consumul ridicat de oţel. În plus, necesitatea vopsirii periodice pentru protejarea metalului împotriva coroziunii, în special în zonele cu atmosferă nocivă, este un dezavantaj nu numai economic ci şi tehnic, deoarece vopsirea cere scoaterea din funcţiune.

Protejarea prin zincare nu rezolvă complet problema întrucît s-a constatat că după un interval de timp nu prea mare (2 — 3 ani) trebuie să se aplice totuşi un strat de vopsea de protecţie.

*Construcţiile de beton armat* nu necesită nici un fel de întreţinere cu condiţia ca betonul să fie de calitate corespunzătoare.

Pentru deservire se creează drumuri de acces pentru vehicule, drumuri de picior etc.

Instalaţiile electrice de înaltă tensiune reprezintă o suprafaţă în care nu are acces decît personal calificat. În consecinţă, incinta staţiei se închide cu un grilaj din metal, plase din sîrmă, mai rar beton.

În marea majoritate a cazurilor staţiile exterioare sînt mai ieftine cu 5 — 10% decît cele interioare.

Staţiile exterioare prezintă acelaşi coeficient de siguranţă în funcţionare ca şi staţiile electrice interioare.

## 2. Dispoziţia subansamblurilor de staţie pe terenuri fără restricţii speciale

Construcţia şi dispoziţia subansamblurilor din staţiile electrice exterioare sînt în cazul unor condiţii normale de teren influenţate în mare măsură de o serie de parametri care pot fi consideraţi în acelaşi timp criterii de clasificare a dispoziţiilor constructive.

**Tensiunea nominală a instalației.** Se obișnuiește ca în cadrul instalațiilor electrice de înaltă tensiune să se denumească totuși stații cu tensiune joasă acelea de 6 — 10 kV care în cazul unor scheme electrice simple și a unor puteri instalate mici se mai numesc și posturi de transformare. La această tensiune stațiile cu scheme electrice mai complicate se realizează, de obicei în interior.

Stații de medie tensiune cu tensiunea nominală de 15, 35, 60 kV se realizează mai ales în ultimele două cazuri în exterior, pentru tensiunea de 15 kV această execuție fiind adoptată doar pentru posturi de transformatoare cu scheme simple.

Stațiile de înaltă tensiune au tensiuni nominale de 110, 220 și 400 kV.

Principial deosebirile dintre aceste tipuri de stații constau în distanțele de izolare între faze și între faze și pămînt care cresc odată cu tensiunea nominală a instalației.

Din motive practice de realizare a stațiilor odată cu creșterea tensiunii instalației are loc și o limitare a înălțimii construcțiilor ajutătoare.

**Înălțimea construcțiilor ajutătoare metalice sau din beton armat** clasifică stațiile în patru categorii: stații de tip jos, stații de tip semiînalt, stații de tip înalt și stații de tip mixt.

Alegerea unei anumite soluții este determinată de lipsa de teren. Astfel stații exterioare pentru centralele de mică putere de munte sau stațiile instalate în regiunile industriale unde nu există teren suficient sînt de tip înalt.

*Stațiile de tip jos* necesită suprafețe mari de teren și prezintă multe dificultăți în legătură cu distanțele minime de la pămînt pînă la părțile aflate sub tensiune. Din acest motiv, ele trebuie prevăzute cu îngrădiri de protecție.

*Stațiile de tip semiînalt* au echipamentele electrice montate pe suporți a căror înălțime de la sol nu necesită, conform normelor de construcție respective, îngrădiri de protecție pentru personalul de exploatare.

*Stațiile de tip înalt* au echipamentele electrice montate în cel puțin două nivele suprapuse, la nivelul superior, de regulă, fiind situate separatoarele care nu sînt piese cu greutate mare. În aceste cazuri la sol pe fundații sau pe suporți se montează întreruptoarele și transformatoarele de măsură.

*Stațiile de tip mixt* reprezintă combinații între primele trei variante de construcții menționate.

O astfel de combinație între montajul aparatelor pe fundații joase și pe suporți a fost mult utilizat în țara noastră la tensiunea de 110 kV, dispunîndu-se ansamblul întreruptorului IUP 110 și transformatoarele de curent CESU 110 pe fundații joase împrejmuite cu gard de protecție, iar restul echipamentului pe suporți înalți. Această dispoziție permite o vedere mai bună a nivelurilor de ulei indicate pe capul întreruptoarelor și o exploatare întrucîtva mai ușoară a stației de conexiuni în ansamblul ei (fig. 16.3).

Combinații similare se pot realiza între dispozitivele constructive ale stațiilor de tip jos și înalt sau semiînalt și înalt. Tipul constructiv mixt de stație de conexiune este foarte întîlnit întrucît el poate răspunde, de obicei în condiții bune, la situații normale ale terenului de amplasare.

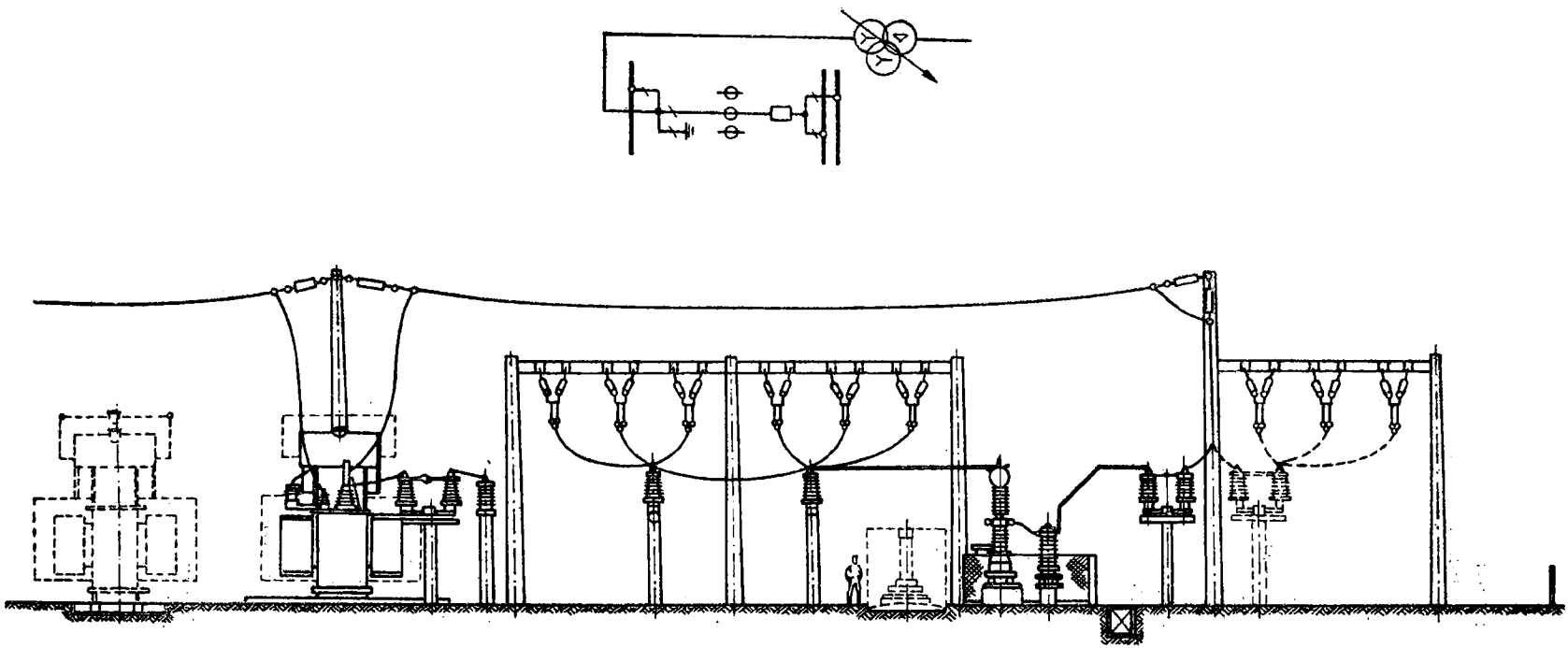


Fig. 16.3. Secțiune printr-o celulă de transformator într-o stație de 110 kV, 2 500 MVA de tip mixt cu bare colectoare duble și bare de transfer. Pasul celulei 8,5 m.

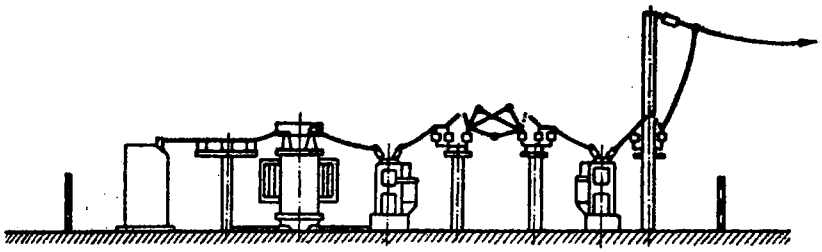


Fig. 16.4. Vedere în plan și secțiune printr-o celulă de linie și celulă de transformator a unei stații de 35 kV cu bare colectoare rigide fixate pe separatoare.

Cu toate acestea cele mai răspîndite sînt cele de tipul semiînalt cu o pondere de 85%, urmînd apoi cele de înălțime mare 5 — 7%, iar restul joase.

**Numărul planurilor de tensiune pe care îl cuprind instalațiile,** cu referire specială la stațiile cu bare colectoare duble sau cu bare multiple. Excluzîndu-se cazul stațiilor de tip înalt unde numărul planurilor de tensiune poate fi mai mare de trei, în cazul stațiilor de tip semiînalt poate fi vorba de două sau trei planuri de tensiune, înțelegîndu-se prin aceasta planul bornelor aparatelor electrice și diverse alte planuri ale conductoarelor electrice sub tensiune.

**Tipul și felul de montare al barelor colectoare.** Există două posibilități de realizare a barelor colectoare și anume:

— cu conductoare flexibile care se întind fie între cadrele situate la fiecare două sau trei cîmpuri, fie între bornele separatoarelor de bare;

— cu conductoare rigide, care se utilizează în instalațiile în care se urmărește și reducerea construcțiilor anexe.

O construcție cu bare colectoare rigide tipizată și în țara noastră pentru stații de 35 kV cu bare simple este reprezentată în figura 16.4. Fiecare conductor rigid al barelor colectoare este susținut de racordurile simultane în bare rigide la separatoarele din celulele aflate față în față.

**Numărul de întreruptoare pe circuit** poate influența construcția stațiilor exterioare. Stațiile cu un singur întreruptor pe circuit sînt cele mai întîlnite în practică, complexitatea instalațiilor fiind dată de celelalte elemente cum ar fi numărul sistemelor de bare colectoare și felul echipamentelor folosite.

Stațiile de conexiuni cu un singur întreruptor pe circuit, cu bare simple nu pun probleme de execuție dificile. Ele permit ca celulele să se poată racorda la barele colectoare față în față, ceea ce conduce la o bună utilizare a terenului stației.

**Modul de dispunere a separatoarelor în celulă** determină diferitele variante constructive ale stațiilor de conexiuni cu bare colectoare.

Astfel, există stații cu separatoarele de bare *montate perpendicular pe barele colectoare* (fig. 16.5), cu separatoarele de bare *situate în șiruri paralele cu barele colectoare* sau o variantă cu separatoarele de bare *situate paralel cu unul dintre sistemele de bare colectoare și perpendicular pe celălalt.*

În cazul folosirii separatoarelor tip pantograf se deosebesc două variante constructive și anume: cu *barele colectoare situate jos* la nivelul capătului superior ale separatoarelor, iar conductoarele de plecare ocupă un nivel su-

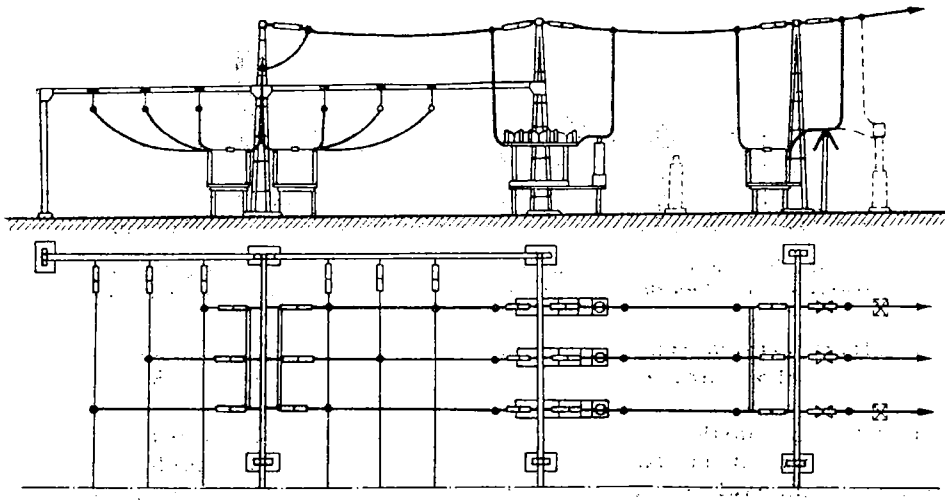


Fig. 16.5. Vedere în plan și secțiune printr-o celulă de linie a unei stații de 220 kV avînd separatoarele de bare perpendiculare pe barele colectoare.

perior (fig. 16.6) și cu *barele colectoare situate sus*, iar conductoarele de plecare se montează la nivelul bornelor aparatelor (fig. 16.7).

Caracteristic pentru toate variantele descrise de stație cu bare colectoare duble este faptul că racordul circuitelor ce vin pe două laturi opuse ale stației la barele colectoare, nu se poate face în același cîmp de celule, racordurile trebuind să fie executate în cîmpuri separate.

**Amplasarea transformatoarelor** are un rol important în construcția stațiilor electrice. Din motivele arătate în paragrafele precedente se preferă amplasarea transformatoarelor în aer liber.

Amplasarea transformatoarelor în exterior se face pe cît posibil lîngă clădirea centralei sau a instalațiilor de distribuție.

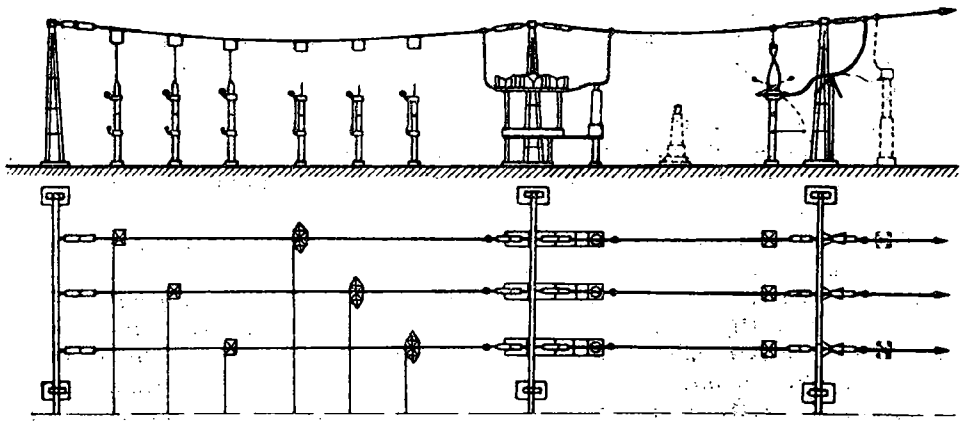


Fig. 16.6. Dispoziția echipamentelor electrice într-o celulă de stație cu separatoare tip pantograf cu barele colectoare montate jos.

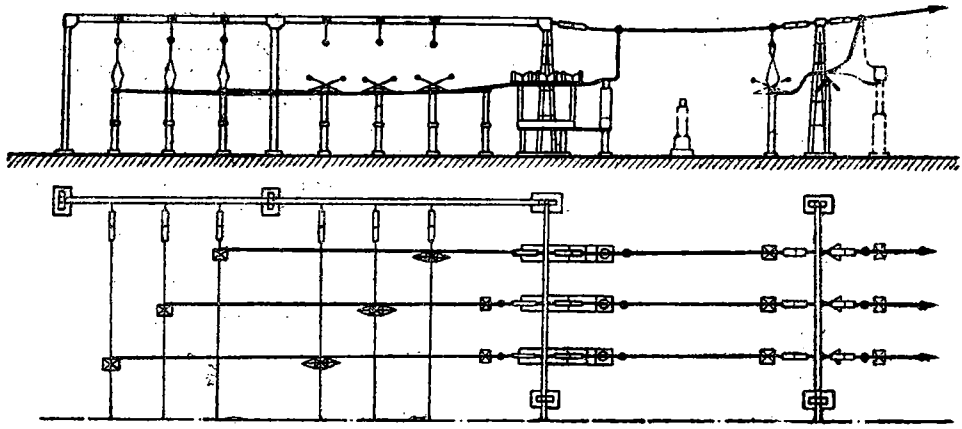


Fig. 16.7. Dispoziția echipamentelor electrice într-o celulă de stație cu separatoare tip pantograf, cu barele colectoare montate sus.

Ele se instalează pe fundații de grinzi de beton prevăzute cu șine pe care transformatorul poate fi deplasat.

Sub transformator se execută colectoare de ulei sub forma unor gropi umplute cu pietriș care reține cel puțin 20% din cantitatea de ulei conținută în transformator. Fundațiile depășesc nivelul solului și al stratului de pietriș cu cel puțin 10 cm.

În construcția stațiilor electrice exterioare se urmărește pe cît posibil realizarea acestora pe o suprafață cît mai restrînsă.

În tabelul 16.4 sînt date orientativ dimensiunile pasului celulelor pentru stații exterioare în funcție de tensiunea nominală a stațiilor.

*Tabelul 16.4*

**Valori uzuale pentru pasul celulelor stațiilor electrice exterioare**

| Tensiunea nominală kV | Pasul celulei în stații din alte țări, m | Pasul celulei în stațiile din R.S.R., m |
|---|---|---|
| 35 | 5— 6 | 5— 6 |
| 110 | 8— 9 | 8—9 |
| 220 | 11—17 | 15 și 17 |
| 400 | 19—28 | 22 și 26 |
| 500 | 26—30 | — |
| 700 | 34—40 | — |

## C. CONSTRUCȚIA STAȚIILOR ELECTRICE INTERIOARE

Stațiile electrice interioare pot avea două categorii principale de instalații: de tip deschis și de tip închis.

**Instalațiile de tip deschis.** La acest tip de instalații aparatajul și căile de curent permit un control vizual direct, asigurîndu-se protecția numai contra atingerilor accidentale ale părților sub tensiune.

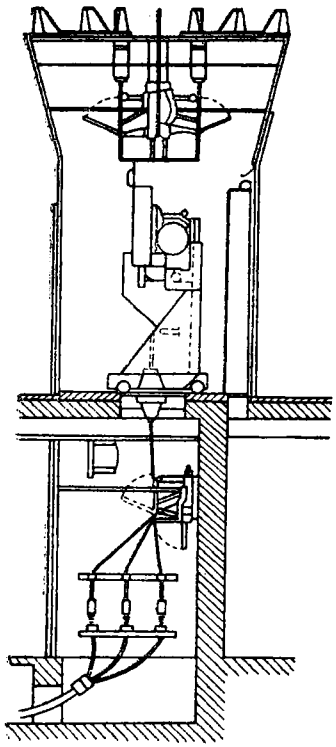


Fig. 16.8. Instalație de tip deschis cu structură celulară.

• După *modul în care se realizează separarea elementelor* aceluiași circuit primar, se deosebesc instalații *cu structura celulară* (fig. 16.8) în cazul în care separarea se execută prin pereți despărțitori plini și instalații *cu structura tip hală* (fig. 16.9) în cazurile în care separarea se realizează prin plase de protecție sau bariere.

Adoptarea uneia sau alteia dintre structuri se determină pe bază tehnico-economică, avîndu-se în vedere distanțele de izolare prescrise, nivelul de tensiune respectiv. Astfel, la instalațiile interioare reduse se impune folosirea structurii celulare. La instalațiile interioare cu tensiunea de 110 kV și mai mult, distanțele de izolare sînt suficient de mari și nu mai este necesară executarea pereților despărțitori plini.

Instalațiile de tip deschis se folosesc în toate țările, ele corespunzînd în ceea ce privește tensiunea de serviciu, schemele electrice primare (cu bare simple sau multiple, cu bare de transfer, cuple speciale, secționări etc.), mărimea curenților nominali și a puterilor de scurtcircuit.

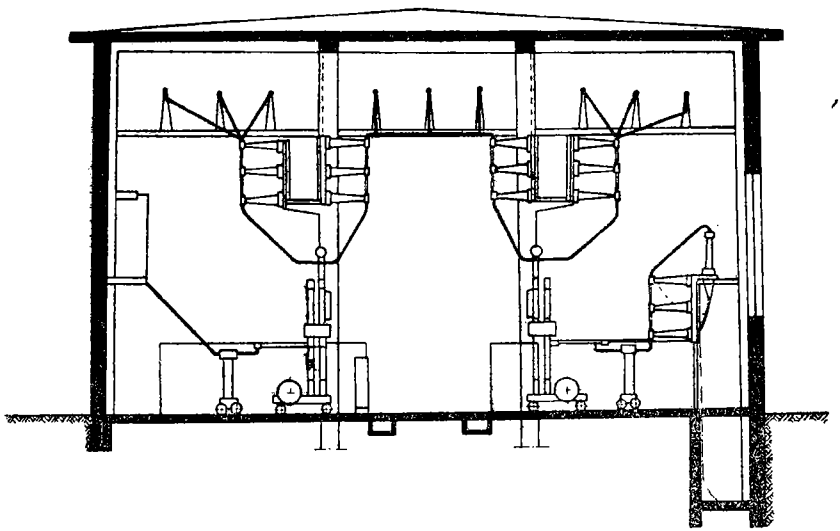


Fig. 16.9. Instalație de tip deschis cu structură tip hală.

Pentru realizarea constructivă a acestor staţii, în afara condiţiilor generale de securitate şi exploatare corespunzătoare, se mai prevăd următoarele:

— nu este permisă dispunerea echipamentelor sau conexiunilor aparţinînd unor circuite diferite în aceeaşi celulă;

— dispoziţia echipamentelor sau conexiunilor trebuie astfel realizată încît la efectuarea unor lucrări la un element aparţinînd unui circuit să nu fie necesară scoaterea de sub tensiune a altui circuit sau a barelor colectoare;

— să se realizeze dispoziţii identice pentru toate echipamentele de acelaşi fel. De exemplu, separatoarele de bare cu dispozitivele lor de acţionare să fie instalate la acelaşi etaj şi în aceeaşi poziţie.

La realizarea unei instalaţii pe două nivele este raţional să se monteze la etaj elementele cu gabarite mici şi greutăţi reduse (bare colectoare, separator de bare), iar la parter a elementelor mai ancombrante şi mai grele (întreruptoare, transformatoare, bobine mari etc.).

**Instalaţiile de tip închis.** Acestea sînt formate din elemente celulare prefabricate închise, care conţin instalaţii de înaltă şi joasă tensiune ale unui singur circuit primar (inclusiv barele colectoare şi cutiile terminale ale cablurilor sau izolatoarelor de interior în cazul plecărilor aeriene), astfel încît nici o parte sub tensiune să nu poată fi atinsă.

• După *modul de execuţie al învelişului exterior de protecţie* se deosebesc *celule capsulate* (fig. 16.10), realizate din tablă de oţel şi *celule blindate*, realizate din fontă turnată sau piese de oţel sudate.

• În funcţie de *gradul de etanşeitate* celulele de tip închis pot fi: *pentru exterior* sau *pentru atmosferă poluantă*.

Domeniul de aplicare al instalaţiilor de tip închis cuprinde numai scheme electrice primare relativ simple (bare colectoare, simple sau duble) şi este limitat la tensiunea care rareori depăşeşte valoarea de 35 kV, curenţi nominali de 2 500 A (la tensiunea de 10 kV) şi puterea de scurtcircuit pînă la 1 000 MVA (la tensiunea de 35 kV).

În ţara noastră astfel de celule sînt foarte utilizate.

*Avantajele* de execuţie şi exploatare ale instalaţiilor de tip închis, în comparaţie cu instalaţiile de tip deschis, sînt următoarele:

— necesită spaţii de amplasare mult mai reduse, determinînd o simplificare a clădirii;

— durata de punere în funcţiune mai redusă, deoarece montajul constă doar în punerea în funcţiune a celulelor cu racordarea cablurilor şi barelor;

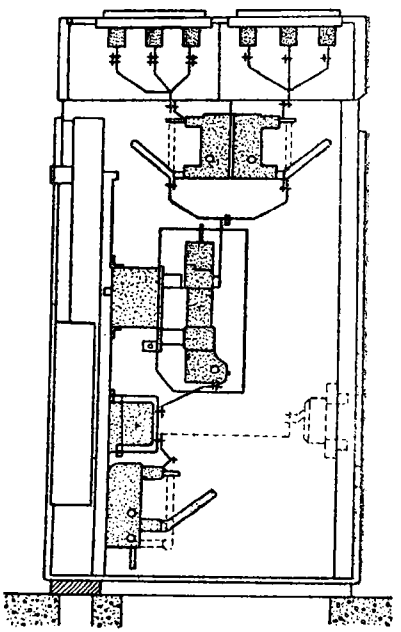


Fig. 16.10. Celulă capsulată.

— riscul electrocutării în exploatare este mai redus și deci siguranța în funcționare este mai mare;

— efectele unor eventuale incidente sau avarii sînt localizate numai la elementele defecte.

*Dezavantajele* instalațiilor de tip închis în comparație cu cele de tip deschis sînt următoarele:

— modificările în structura de amplasare a aparatelor nu sînt posibile;

— efectuarea unui control vizual al circuitelor cu menținerea în funcțiune a instalației nu este posibilă;

— domeniul de aplicare limitat la parametrii electrici și schemele electrice folosite;

— prețul de cost al instalațiilor de tip închis este mai ridicat, de regulă, decît al celor de tip închis.

Domeniile unde celulele de tip închis s-au impus cu precădere sînt instalațiile cu caracter provizoriu, serviciile interne ale centralelor, instalațiile de alimentare cu energie electrică la consumatori, instalațiile fără personal permanent, instalațiile în zone cu atmosferă poluată sau pericol de explozie.

În cele ce urmează se vor prezenta pe scurt cîteva exemple de instalații de tip deschis și închis cu tensiunea de serviciu pînă la 110 kV și mai mult.

## 1. Instalații de tip deschis cu tensiune de serviciu sub 110 kV

Instalațiile de tip deschis se realizează diferit în cazul tensiunii de serviciu pînă la 35 kV față de cele cu tensiuni de serviciu de la 35 la 110 kV și mai mult. Astfel, în instalațiile fără bobine de reactanță, cu bare simple sau duble, soluțiile constructive pentru tensiunea pînă la 35 kV sînt normalizate sau tipizate în toate țările dezvoltate.

Măsurile de izolare a elementelor aflate sub tensiune, păstrarea distanței electrice prescrise și blocajele pentru evitarea manevrelor greșite (de exemplu deschiderea separatoarelor sub sarcină) nu înlătură total posibilitățile de apariție a arcului electric. Din studiile efectuate de către firmele AEG și BBC a rezultat că este necesară o diferențiere a soluțiilor constructive pentru instalațiile electrice de tip deschis cuprinse între 6 și 35 kV, în funcție de valoarea curentului de scurtcircuit, astfel:

— *clasa A*, instalații de mică putere pentru curenți de scurtcircuit pînă la 10 — 15 kA (în funcție de tensiune);

— *clasa B*, instalații de putere mijlocie pentru curenți de scurtcircuit pînă la 20 — 30 kA (în funcție de tensiune);

— *clasa C*, instalații de mare putere pentru curenți de scurtcircuit pînă la 40 — 60 kA (în funcție de tensiune);

— *clasa D*, instalații de foarte mare putere pentru curenți de scurtcircuit mai mari de 40 — 60 kA.

Constructiv, pentru fiecare clasă s-au luat o serie de măsuri pentru realizarea instalațiilor în condiții optime de funcționare după cum urmează:

— la instalațiile de clasa A s-a renunțat la copertina de protecție între separatoare și bare deoarece arcul electric care apare nu poate să se extindă pe bare decît rar și cu efecte neînsemnate. La instalațiile cu bare colectoare duble se recomandă totuși o separare longitudinală a celor două sisteme de bare prin pereți rezistenți la foc;

— la instalațiile de clasa B devine necesară prevederea unui perete despărțitor între separatoare și barele colectoare ;

— la instalațiile de clasă C, datorită curenților mari de scurtcircuit, separatoarele de bare sînt despărțite prin pereți rezistenți la foc atît de compartimentul barelor colectoare, cît și de compartimentul întreruptoarelor ;

— la toate instalațiile de clasă A — D compartimentul de joasă tensiune este separat de restul celulei prin pereți plini rezistenți la arc electric ;

— la instalațiile de clasă D, instalația de foarte mare putere, cu utilizare restrînsă, nu se folosesc soluții tip.

Pentru exemplificarea celor relatate mai sus, în figurile 16.11 și 16.12 sînt reprezentate instalații de tip deschis de 20 kV de clasă B tipizate în țara noastră.

Se remarcă originalitatea fixării barelor colectoare direct pe izolatoarele de trecere prin placa de separație a barelor cu separatorul de bară. Aceste instalații complet prefabricate sînt prevăzute cu întreruptor cu ulei puțin de tipul I0 10 —20 kV montat pe cărucior debroșabil și pot fi aplicate folosindu-se aceleași elemente principale la racorduri aeriene sau în cablu, atît în cazul schemelor cu bare simple, cît și cu bare duble.

## 2. Instalații de tip deschis cu tensiune de serviciu de 110 kV și mai mult

Lipsa de spațiu din centrele dens populate și efectul de contaminare a izolației electrice produs de sursele de poluare în atmosferă au condus uneori la soluția executării în spații adăpostite a instalațiilor cu tensiuni de 110 kV și mai mari.

La tensiunea de 110 kV, construcția în interior a instalației este foarte răspîndită, fapt care a condus la fabricarea unor echipamente de 110 kV pentru montaj în interior, ca de exemplu, separatoare și reductoare de măsură cu izolație uscată.

În general, pentru tensiuni de 110 kV caracteristica constructivă este *tip hală* și *tip etajat*.

Construcția tip hală, caracterizată prin lipsa pereților intermediari, este cea mai frecventă asigurînd o bună vizibilitate a instalațiilor.

Construcția etajată a echipamentului se folosește în cazul unor suprafețe restrînse care nu permit desfășurarea instalațiilor pe un singur nivel.

În figura 16.13 este reprezentată construcția unei stații de 110 kV cu bare colectoare duble, cu celulele dispuse pe două șiruri realizate în țara noastră.

În figura 16.14 este reprezentată structura construcției unei stații de transformare coborîtoare de 110/10 kV, de tip interior.

Lipsa de teren a condus la o desfășurare pe verticală a instalației. La etajul superior sînt plasate cele două sisteme de bare și separatoare de bare, la nivelul inferior sînt dispuse pe două șiruri : întreruptoarele de 110 kV, reductoarele de măsură și separatoarele de linie.

Tendințele actuale privind instalațiile de 110 kV și mai mult timp interior sînt îndreptate spre execuția de subansambluri blindate folosind alte medii izolante decît aerul, montate direct în exterior.

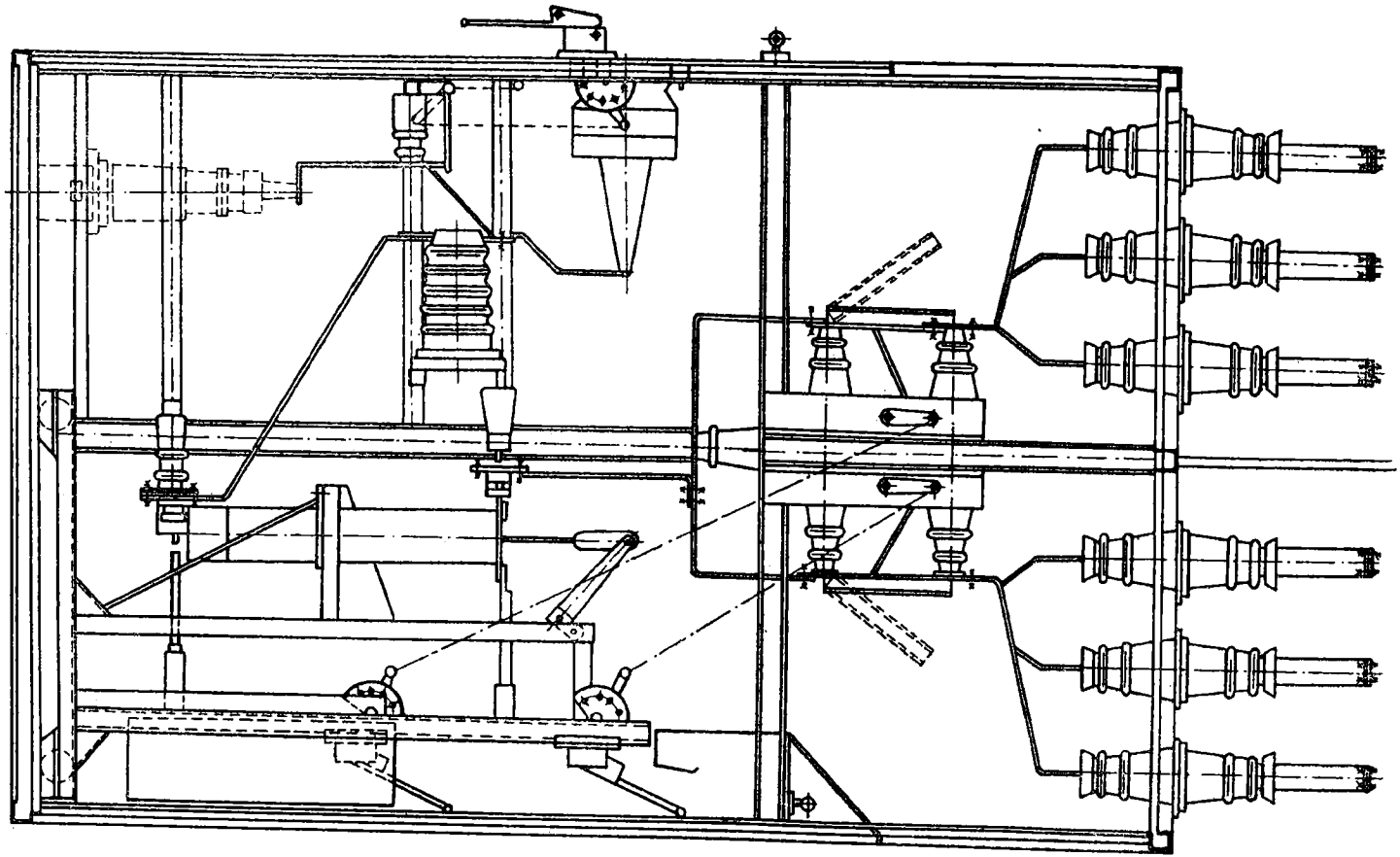


Fig. 16.11. Instalație de tip deschis cu bare de 20 kV, de clasă B, prefabricată, cu întreruptor debroșabil, tipizată în România.

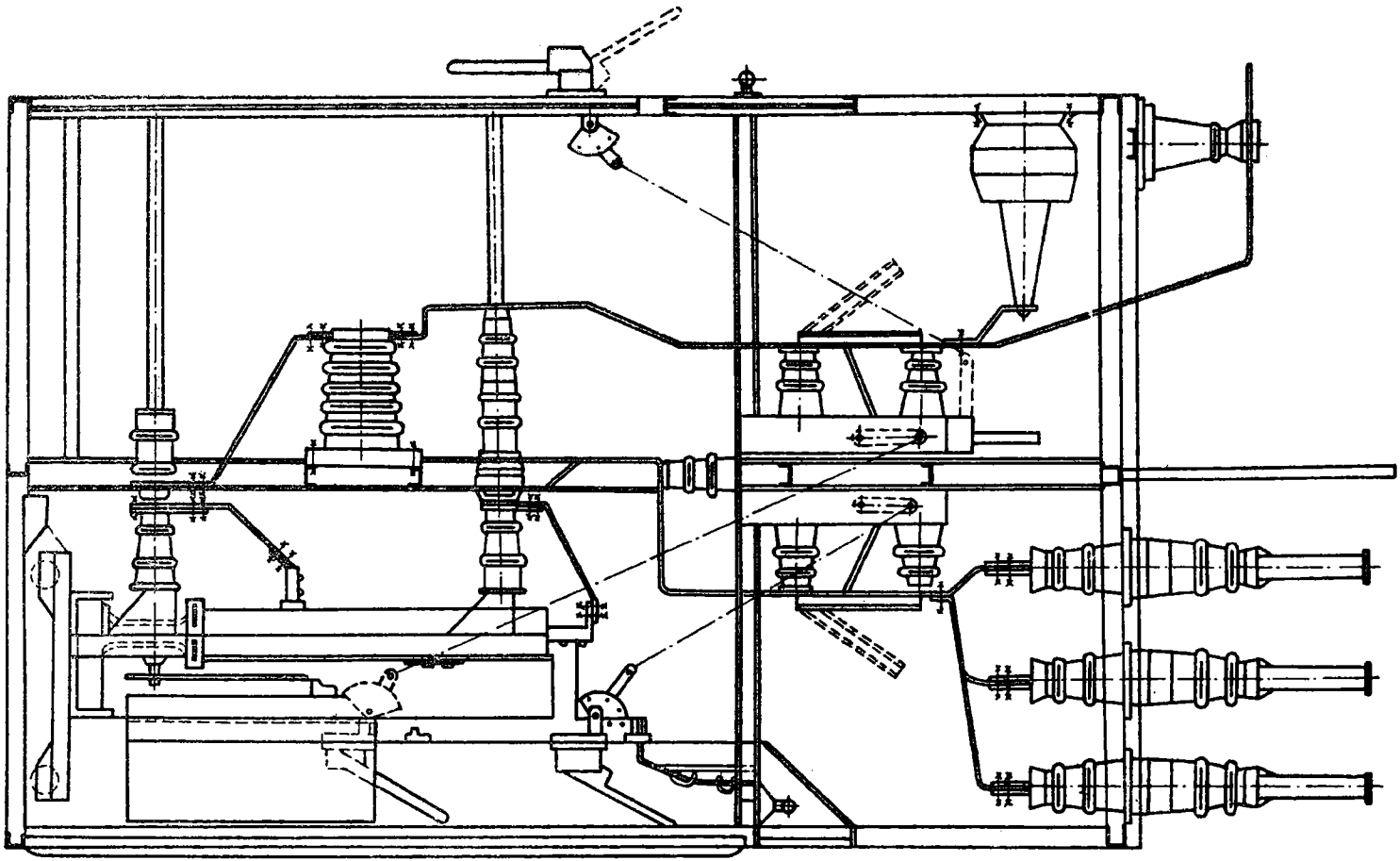


Fig. 16.12. Instalație de tip deschis, cu bare simple de 20 kV, de clasă B, prefabricată, cu întreruptor debroșabil, tipizată în România.

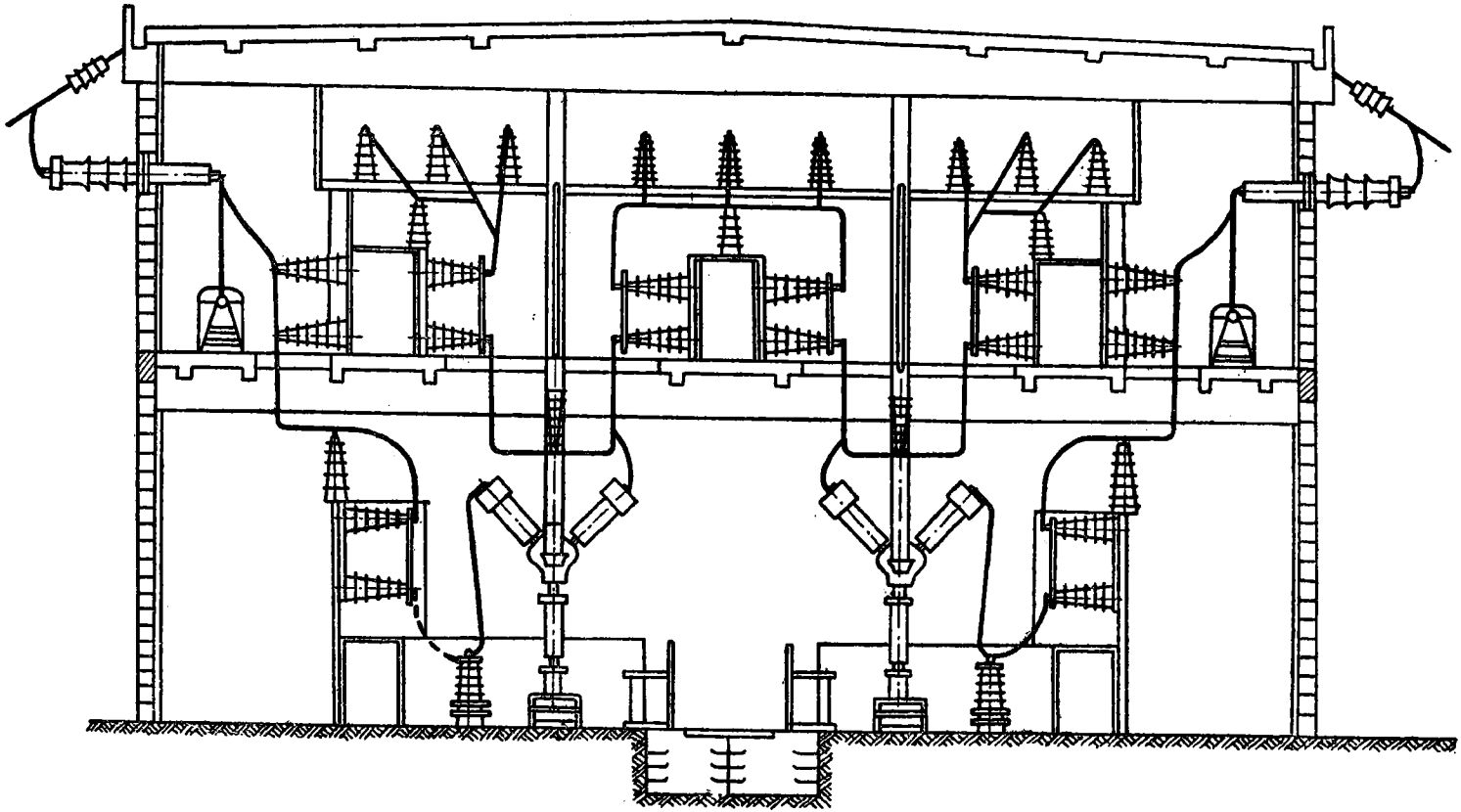


Fig. 16.13. Instalație de 110 kV de tip interior, cu două sisteme de bare colectoare, cu celule dispuse pe două șiruri, realizată în România.

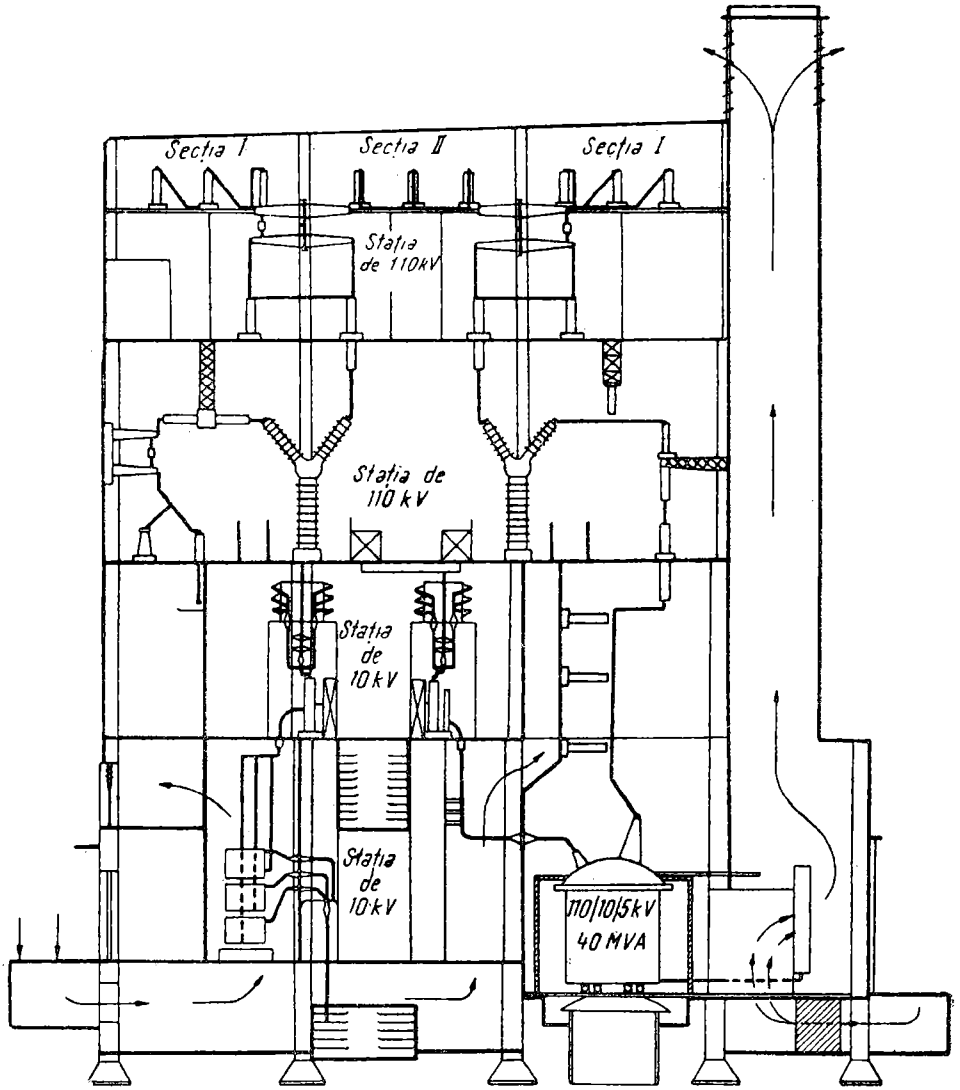



Fig. 16.14. Structura constructivă caracteristică a unei stații de transformare coborîtoare de 110/10 kV, de tip interior.

## 3. Instalații de tip închis pentru tensiune de serviciu de pînă la 35 kV

Soluțiile constructive ale acestor instalații sînt normalizate în funcție de întreprinderea constructoare, datorate aplicării lor pe scară largă în instalațiile de 5 — 30 kV de mică putere, clasa A și putere mijlocie, clasa B. Ele pot fi clasificate astfel :

● După *natura izolației*:

— cu conductoare neizolate, cu realizarea distanțelor minime de izolare în aer prescrise;

— cu conductoare izolate suplimentar. Izolația barelor este mărită prin aplicarea unui strat izolant solid.

Primul tip are o răcire mai bună dar necesită distanțe mari între elementele sub tensiune. Al doilea tip prezintă o protecție unitară împotriva micilor animale și evită arcurile și punerile la pământ.

● După *sistemul de compartimentare în interiorul celulei*:

— cu compartimentare. Celula propriu-zisă este împărțită într-o serie de compartimente astfel încît întreruptoarele, barele colectoare, separatoare și chiar fazele între ele sînt separate prin pereți plini;

— fără compartimentare cu racorduri între aparate realizate ca celule de tip deschis.

La toate tipurile se prevede un compartiment special pentru elementele de joasă tensiune: cleme, cabluri de comandă și semnalizare, aparate de măsurat și de protecție etc.

Compartimentarea prezintă dezavantajul înrăutățirii controlului și mărirea dimensiunilor celulei.

## 4. Modul de montare a aparatelor

Se deosebesc două moduri de montare a aparatelor: fixă și pe cărucior.

*Montarea fixă.* Montarea aparatelor în interiorul celulei se execută ca la celulele de tip deschis, pe stelaje metalice fixate pe pereții celulei.

Montarea fixă prezintă avantajul unei realizări simple fără aparate sau blocaje speciale, dar mărește dimensiunile celulelor.

*Montarea pe cărucior.* Celula este compusă din două părți distincte: partea din spate fixă care cuprinde barele colectoare și cutiile terminale de cablu și partea din față conținînd cel puțin întreruptorul montat pe cărucior. Reductoarele de curent și tensiune, precum și aparatele de măsurat și de protecție se pot monta fie pe partea fixă, fie pe cărucior.

Montarea pe cărucior reduce dimensiunile celulelor și timpul de înlocuire a unor aparate, dar necesită în schimb blocaje speciale pentru împiedicarea deplasării căruciorului atunci cînd întreruptoarele sau separatoarele nu sînt în poziția deschis, precum și altele.

## 5. Natura echipamentului

Echipamentul stațiilor electrice poate fi de două feluri:

— echipament obișnuit: întreruptoare, reductoare de măsură, separatoare de tip obișnuit;

— echipament special, executat pentru a fi montate în celule de tip închis.

Tipurile constructive de celule de tip închis capsulat adoptate în toate țările sînt reprezentate în figura 16.15.

Construcția cea mai răspîndită la bare simple este tipul *a*, celulă cu întreruptor debroșabil, separarea executîndu-se cu contacte tip fișă. Tipul *b*

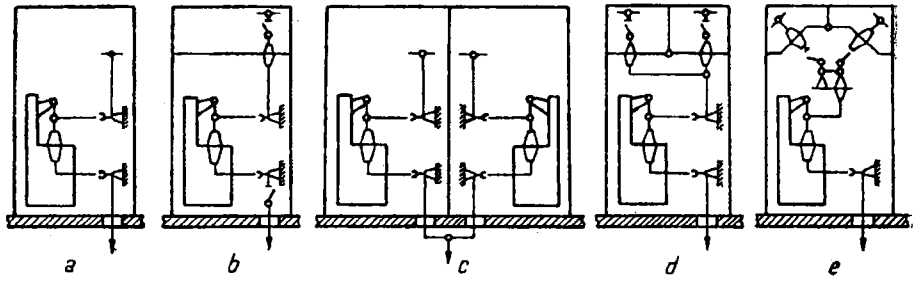



Fig. 16.15. Diverse tipuri constructive de celule închise.

are în plus separatoare de bare şi linie şi este puţin folosit. La bare duble se folosesc tipurile *d* şi *e* cu întreruptoare debroşabile, care diferă între ele prin poziţia şi tipul separatoarelor de bare. Varianta *d* are separatoarele de bare fixe montate în compartimentul barelor. Varianta *e* are cuţitele separatoarelor montate pe cărucior, iar contactele pe partea fixă.

Realizările constructive au evoluat în direcţia reducerii dimensiunilor celulelor prin generalizarea montajului debroşabil al întreruptorului (fig. 16.16).

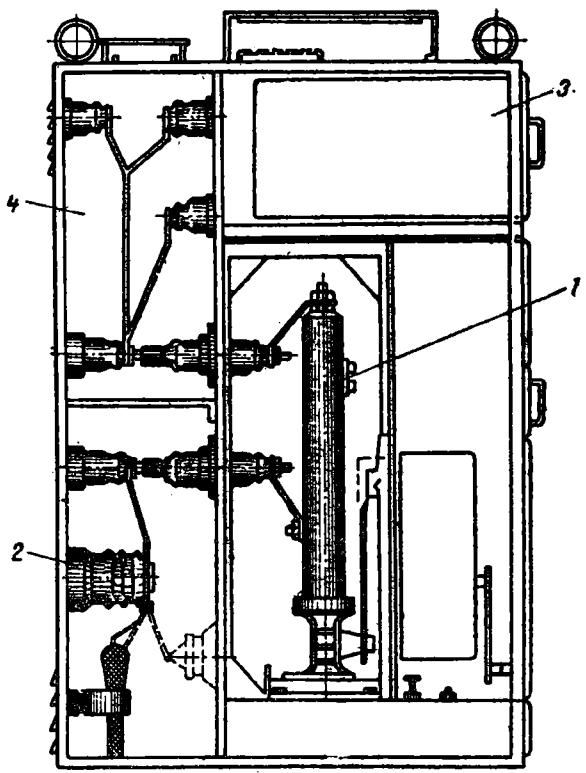



Fig. 16.16. Celulă de tip închis de 10 kV cu întreruptor debroşabil şi conductoare neizolate :
*1* — întreruptor pe cărucior debroşabil ; *2* — transformator de curent ; *3* — compartiment pentru circuitele secundare ; *4* — compartiment pentru bare colectoare.

## D. CONSTRUCȚIA PUNCTELOR DE ALIMENTARE ȘI POSTURILOR DE TRANSFORMARE

### 1. Construcția punctelor de alimentare

Punctele de alimentare se construiesc, de regulă, în interiorul clădirilor și pot fi realizate la suprafață sau subteran.

Constructiv, punctele de alimentare se realizează la fel ca posturile de transformare, diferite fiind numai dimensiunile încăperilor. În general, în punctele de alimentare există un număr mai mare de celule de înaltă tensiune și ca urmare construcția are dimensiuni mai mari decît construcția posturilor de transformare.

### 2. Construcția posturilor de transformare

Din punct de vedere constructiv se deosebesc: posturi de transformare interioare și posturi de transformare exterioare.

**Posturile de transformare interioare.** Aceste posturi se pot clasifica în următoarele tipuri: în cabine metalice prefabricate, în cabine de zid la suprafața solului și în cabine de zid subterane.

*Posturile de transformare în cabine metalice prefabricate* au o largă răspîndire, fiind folosite în unele instalații industriale (schele petrolifere, în metalurgie și siderurgie etc.), în unele rețele rurale în care puterea cerută de consumatori depășește 250 kVA, în rețele urbane (în special în cartiere de locuit unde un post de transformare alimentează un număr de blocuri), precum și în instalații provizorii de pe șantiere.

Acest gen de posturi sînt ușor de montat și de revizuit în caz de avarie.

Echiparea posturilor se face cu transformatoare de 250 kVA, 400 sau 1 600 kVA, deci se utilizează la puteri relativ mici.

*Posturile de transformare în cabine de zid la suprafața solului* au cea mai mare răspîndire atît în industrie, cît și la clădirile social-culturale; ele acoperă gama cea mai mare de puteri și unități. Se construiesc posturi de la o unitate de 400 kVA sau două unități de 250 kVA pînă la patru sau mai multe unități de 1 000 kVA.

În interior ele sînt împărțite în mai multe încăperi conform figurii 16.17 și anume: o încăpere pentru celulele de înaltă tensiune, o încăpere pentru tabloul general de joasă tensiune și o încăpere sau mai multe pentru fiecare unitate de transformator.

În industrie, unde datorită unui număr mare de mașini electrice cu factor de putere scăzut este necesară îmbunătățirea factorului de putere, apare necesitatea unei încăperi în plus pentru montarea unor baterii de condensatoare care compensează factorul de putere.

*Posturile de transformare în cabine de zid subterane* sînt construite fie în subsolul unei clădiri, fie independente în spații libere (parcuri, piețe etc.) sau sub străzile orașelor. Necesitatea construirii acestor posturi de transformare în subteran este dictată de obligativitatea amplasării lor în spații aglomerate.

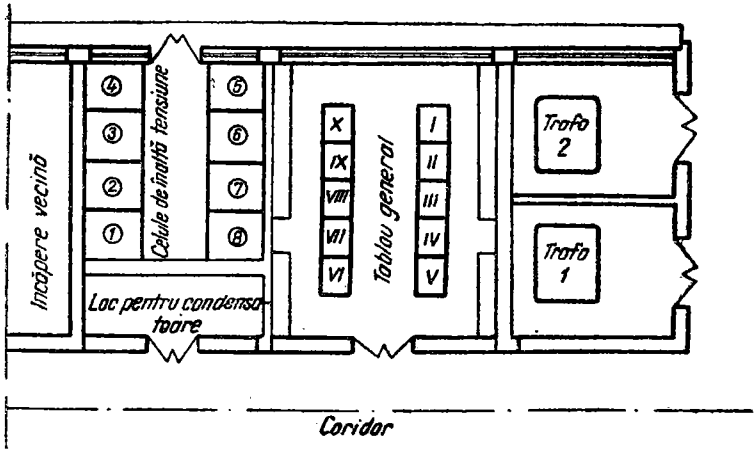



Fig. 16.17. Partea constructivă a unui post de transformare.

Față de celelalte tipuri de posturi de transformare, acestea din urmă prezintă o serie de dezavantaje cum sînt: accesul mult mai dificil, imposibilitatea realizării unei ventilații naturale, o exploatare mai anevoioasă.

Posturile sînt prevăzute cu o încăpere pentru partea de înaltă tensiune, cîte o încăpere pentru fiecare transformator, o încăpere pentru partea de joasă tensiune și o încăpere pentru accesul în post.

Accesul în post se face prin două trape, una mai mare cu dimensiuni de 1,5 — 2,5 m, pentru introducerea utilajelor, și una mai mică, pătrată cu latura de 0,8 — 1 m, pentru pătrunderea personalului.

**Posturi de transformare exterioare.** Aceste posturi de transformare se realizează în două variante constructive și anume: posturi de transformare construite pe stîlpi și posturi de transformare cu transformatoarele așezate pe sol.

*Posturile de transformare pe stîlpi* sînt răspîndite în mediul rural unde puterile cerute nu sînt prea mari.

Transformatoarele acestor posturi au puterea nominală cuprinsă între 20 și 250 kVA și sînt amplasate pe o platformă fixată la partea superioară a unor stîlpi speciali. Stîlpii sînt de lemn sau de beton, platforma fiind susținută de cele mai multe ori de doi stîlpi ca în figura 7.9.

*Posturile de transformare așezate la sol* sînt mult mai puțin răspîndite. Ele se construiesc doar în zonele industriale în care circulația este foarte bine reglementată și numai luîndu-se măsuri de protecție pentru înlăturarea completă a posibilității de electrocutare.

## Capitolul 17

# INSTALAȚII DE SERVICII INTERNE

Serviciile interne ale unei centrale sau stații electrice fac parte integrantă din complexul de instalații care alcătuiesc centrale sau stația respectivă și au rolul de a asigura funcționarea normală a tuturor agregatelor care iau parte direct sau indirect la producerea și distribuția energiei electrice sau termice.

Principalele instalații ale serviciilor interne analizate în acest capitol sînt comune pentru centralele și stațiile electrice: instalația de curent continuu, instalația de aer comprimat, gospodăria de ulei.

Serviciile interne ale unei centrale sînt totdeauna mai complexe decît cele ale unei stații și cuprind în plus instalațiile pentru acționarea mecanismelor care deservesc agregatele cazanului, turbinei și generatorului.

Toate procesele de producție din centralele electrice sînt complet mecanizate și parțial automatizate. Pentru mecanizarea și automatizarea proceselor de producție se consumă o parte din energia produsă în centrală.

Consumul propriu al unei centrale se exprimă în procente din energia produsă de generatoare. Consumul propriu este pentru centralele hidroelectrice de 0,5 — 1,5%, pentru centralele termoelectrice cu condensație de 5 — 8%, iar pentru centralele de termoficare de 10 — 12%.

Consumul propriu al stațiilor are valori foarte reduse și nu se evaluează pentru comparație.

Serviciile interne sînt alimentate de la transformatoare coborîtoare de tensiune, racordate la barele centralei sau stației. În stațiile de transformare sau de conexiune, izolate, serviciile interne nu pun probleme deosebite și sînt alimentate de un transformator cu puterea de cîteva sute de kVA. Uneori se aleg două transformatoare, pentru a avea o alimentare de rezervă.

În centralele electrice, datorită puterii mari absorbite și tensiunilor diferite la care sînt racordate agregatele, sistemul de alimentare este mai complex.

În general, pentru a se avea o siguranță mărită, se racordează cîte un transformator la fiecare sistem de bare al centralei. Transformatoarele serviciilor interne din centrale au puteri unitare de cîteva mii de kVA.

Consumul serviciilor interne prezintă o importanță deosebită din punct de vedere tehnic și economic în proiectare și exploatare; creșterea sau scăderea acestui consum influențează direct prețul de cost al energiei electrice furnizate de centrala respectivă. Reducerea consumului serviciilor interne trebuie să fie o preocupare permanentă a întregului personal din centralele electrice.

## A. INSTALAȚIA DE CURENT CONTINUU

În centrale și stații electrice se folosește curentul continuu în diverse scopuri, ca de exemplu, alimentarea motoarelor electrice de curent continuu, iluminatul de rezervă, alimentarea circuitelor de comandă, semnalizare, automatizare și protecție prin relee.

Sursele de alimentare a circuitelor de curent continuu sînt: bateriile de acumulatoare, agregatele redresoare, agregatele motor generator.

*Bateriile de acumulatoare* se compun din elemente de acumulatoare legate în serie și în paralel. Numărul de elemente legate în serie determină tensiunea bateriei, iar numărul de elemente legate în paralel determină curentul maxim pe care-l poate debita bateria.

*Agregatele redresoare* folosite pentru alimentarea serviciilor interne se compun din: transformator, celule redresoare și aparate auxiliare pentru reglare și protecție. Celulele redresoare pot fi cu tuburi electronice sau celule semiconductoare (cu seleniu sau cuproxid).

*Agregatul motor-generator* este format dintr-un motor asincron (alimentat de la barele de curent alternativ ale serviciilor interne), cuplat cu un generator de curent continuu.

Bateriile de acumulatoare asigură alimentarea consumatorilor în cazul oricăror avarii din centrală sau stație, chiar în cazul dispariției totale a tensiunii alternative. Pentru aceasta este necesar ca bateriile să fie în orice moment încărcate și să aibă capacitate suficientă pentru alimentarea tuturor consumatorilor care folosesc ca alimentare de rezervă curentul continuu.

Agregatul motor-generator sau agregatul redresor are rolul de a asigura încărcarea bateriilor de acumulatoare și de a furniza energia necesară consumatorilor de curent continuu, în timpul funcționării normale.

*Tensiunile nominale* uzuale la centralele și stațiile electrice din țara noastră sînt 24, 48, 110 și 220 V (eventual și 60 V). La centralele și stațiile electrice importante se folosește în general tensiunea de 220 V, avîndu-se în vedere consumul important și căderile de tensiune în conductoare.

În afară de tensiunea nominală, trebuie să se cunoască pentru fiecare consumator tensiunea maximă și minimă admisă, între care se garantează buna funcționare.

## B. GOSPODĂRIA DE ULEI

În cadrul gospodăriei de ulei se efectuează următoarele lucrări: recepționarea uleiurilor ce urmează a fi utilizate, uscarea, curățirea și turnarea lor în cuvele transformatoarelor și întreruptoarelor. Cînd este necesar se efectuează și regenerarea uleiului existent în transformatoare, întreruptoare sau în alte aparate.

Utilajul gospodăriei de ulei este constituit din: rezervoare pentru păstrarea uleiului, diferite conducte de ulei, aparate pentru uscarea, curățirea și regenerarea uleiului.

Gospodăria de ulei trebuie să dispună de cel puțin un rezervor subteran de mare capacitate, pentru recepționarea și depozitarea uleiului proaspăt, și de două rezervoare de manevră, pentru păstrarea uleiului evacuat din diferite aparate și pentru operațiile de curățire a lui. Rezervoarele de ma-

nevră pot fi aşezate în aer liber, însă se impune luarea măsurilor corespunzătoare de protecţie împotriva incendiilor.

În afară de aceste rezervoare, pe lîngă principalele agregate care folosesc cantităţi însemnate de ulei (transformatoare, întreruptoare), este necesar să se amenajeze cîte un rezervor subteran (cu capacitate cel puţin egală cu cea a cuvei agregatului respectiv), numit puţ de avarie, în care să se evacueze uleiul în caz de avarie.

Conductele de ulei au rolul de a face legătura între rezervorul de ulei şi aparatele de curăţire, uscare şi regenerare, precum şi de a uni rezervoarele între ele, în vederea evacuării uleiului. Conductele de legătură trebuie păstrate umplute cu ulei sau, în caz contrar, înainte de utilizare trebuie spălate bine cu ulei curat.

Gospodărirea de ulei se află sub conducerea sectorului de servicii interne ale centralei respective şi răspunde pentru ea un angajat ales special din secţia electrică. Acesta lucrează în colaborare cu laboratorul chimic unde prezintă probe pentru efectuarea următoarelor analize:

— analiza completă (pentru uleiul proaspăt primit), care constă din determinarea anumitor indici pentru controlul purităţii uleiului;

— analiza de exploatare;

— încercarea de străpungere.

Pe baza analizelor chimice şi a concluziilor laboratorului chimic se stabileşte procedeul de curăţire a uleiului sau eventual înlocuirea lui.

## 1. Curăţirea uleiului

Prin curăţirea uleiului se obţine, pe de o parte îmbunătăţirea indicilor lui calitativi, însă pe de altă parte se contribuie la îmbătrînirea lui, deoarece în procesul curăţirii acesta se amestecă intens cu oxigenul din aer, pe care-l absoarbe cu uşurinţă. Deci, curăţirea trebuie făcută numai atunci cînd este absolut necesară.

Aparatele care servesc la curăţirea uleiului sînt separatorul de ulei sau filtrul-presă.

*Separatorul de ulei* cel mai utilizat este separatorul centrifug, cu ajutorul căruia se obţine, cu multă uşurinţă şi fără vreun consum de materiale, eliminarea umidităţii şi separarea impurităţilor din ulei. Separatorul centrifug este un aparat cu productivitate mare (2 000 l/h), şi uşor manevrabil. Nu îndepărtează însă în suficientă măsură acizii şi carbonul în suspensie din ulei.

*Filtrul-presă*, care are ca element de filtrare hîrtia de filtru, se utilizează la curăţirea uleiului de umiditate, de substanţe răşinoase, de acizi şi de depunerile de carbon. Productivitatea filtrului-presă este condiţionată de consumul de hîrtie de filtru şi respectiv de pauzele necesare pentru recondiţionarea acestei hîrtii după o anumită perioadă de funcţionare.

Particularităţile filtrului-presă, precum şi timpul îndelungat necesar încărcării cu hîrtie au făcut ca utilizarea lui să fie mai restrînsă decît a separatoarelor de ulei centrifuge.

### 2. Regenerarea uleiului

Dintre metodele folosite la regenerarea uleiului se remarcă următoarele :
— metoda leşie-pămînt ;
— metoda acid-pămînt ;
— metoda folosirii absorbanţilor granulaţi.

*Metoda leşie-pămînt* constă din amestecarea uleiului cu leşie, urmată de decantare şi, în final, după spălare, din trecerea uleiului prin pămînt decolorant, obţinîndu-se astfel o separare completă a tuturor impurităţilor.

*Metoda acid-pămînt* asigură o curăţire şi mai bună a uleiului. Cel mai indicat este acidul sulfuric concentrat care are proprietatea de a favoriza sedimentarea rapidă a produselor de îmbătrînire aflate în ulei. În continuare, uleiul este prelucrat cu pămînt decolorant, care la rîndul său este îndepărtat din amestec prin decantare sau prin trecerea uleiului prin filtre.

*Metoda folosirii absorbanţilor granulaţi* utilizează ca absorbant : silicagelul, pămîntul decolorant, oxidul de aluminiu şi nisipul de argilă. Toate produsele de îmbătrînire şi toate impurităţile sînt eliminate din ulei la trecerea prin aceşti absorbanţi.

Curăţirea şi regenerarea uleiurilor se execută după indicaţiile şi sub supravegherea laboratorului chimic.

## C. INSTALAŢIA DE AER COMPRIMAT

În staţiile electrice, mai ales în cele de tensiuni mari (35—220 kV), aerul comprimat este folosit pentru acţionarea separatoarelor şi întreruptoarelor. De asemenea, aerul comprimat este folosit ca mediu de stingere a arcului electric în întreruptoarele cu aer.

Aerul comprimat trebuie să îndeplinească următoarele condiţii : să fie uscat şi curat, să existe în cantităţi suficiente şi să aibă presiunea nominală. Pentru aceasta, în centrale şi staţii există o instalaţie destul de complexă pentru producerea şi distribuţia aerului comprimat.

### 1. Instalaţia de producere a aerului comprimat

Această instalaţie are două ramuri identice, care pot funcţiona în paralel sau separat pe două conducte principale (fig. 17.1). Aerul absorbit din atmosferă prin filtrul *3* este comprimat de compresorul *2*, acţionat de motorul *1*, răcit în răcitorul *4* şi apoi introdus prin ventilul normal *5* şi ventilul de reţinere *6* în butelia de înaltă presiune *7*, care constituie un rezervor de aer comprimat ; în rezervor, apa conţinută în aer se condensează şi este eliminată.

Presiunea aerului din butelia de înaltă presiune este de două ori mai mare decît presiunea necesară la utilizarea aerului comprimat. Prin intermediul unui reductor de presiune *8*, aerul este trecut în butelia de joasă tensiune *9*, de unde trece în conducta principală de distribuţie.

Debitul compresoarelor se stabileşte astfel încît ele să poată umple complet întreaga instalaţie de aer în trei ore. Capacitatea buteliilor trebuie să asigure efectuarea unei manevre de închidere-deschidere a întregului utilaj pneumatic.

Pornirea şi oprirea compresoarelor se face automat, prin intermediul unor manometre cu contacte electrice de maxim şi minim.

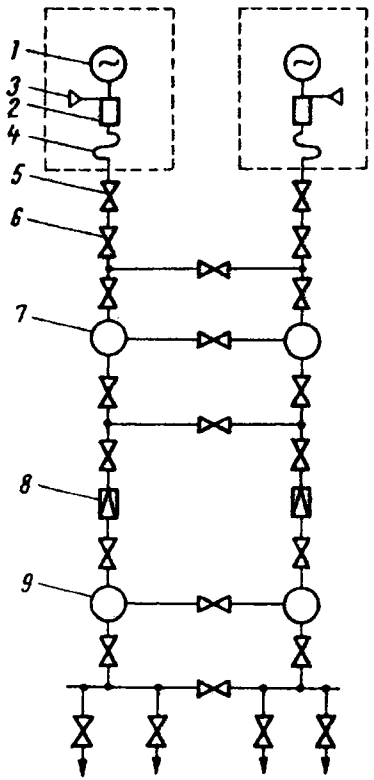



Fig. 17.1. Schema instalației de producere a aerului comprimat.

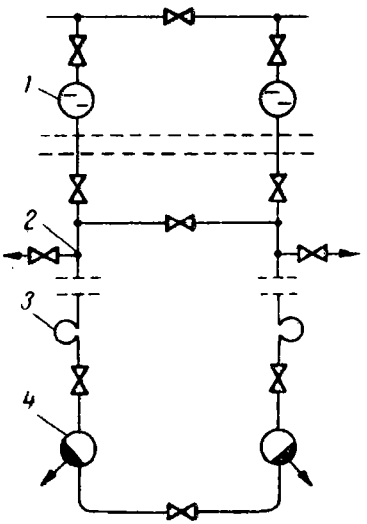



Fig. 17.2. Schema instalației de distribuție a aerului comprimat : *1* — filtru de impurități ; *2* — derivație la celulă ; *3* — liră de dilatare ; *4* — oală de condensat.

### 2. Rețeaua de distribuție a aerului comprimat

Instalația de distribuție a aerului comprimat se execută în buclă (fig. 17.2) de-a lungul celulelor din stație dispuse de o parte și de alta a culoarului.

Conductele de aer se execută din cupru sau din oțel cuprat (în interiorul conductelor). Îmbinările conductelor sînt fixe (alămite) sau demontabile (cu flanșe sau cu inel de etanșare și piuliță olandeză).

## D. ILUMINATUL ELECTRIC AL CENTRALELOR ȘI STAȚIILOR

În centrale și stații se prevede o instalație pentru iluminatul de serviciu și o altă instalație pentru iluminatul de rezervă.

Iluminatul de serviciu este necesar în toate încăperile centralei sau stației, precum și în exterior, pe acele porțiuni ale teritoriului pe care se efectuează în timpul nopții lucrări sau deplasări de materiale și de oameni.

Comanda iluminatului interior trebuie să fie separată de a celui exterior. Tensiunea nominală a instalațiilor de iluminat este de 380/220 V (mai rar 220/127 V).

Iluminatul de rezervă se prevede în secțiile principale și în locurile în care nu este permisă întreruperea lucrului personalului de exploatare în cazul deconectării de avarie a iluminatului de serviciu. În condițiile normale de exploatare, iluminatul de rezervă îndeplinește funcțiile iluminatului de serviciu, adică iluminatul de serviciu și de rezervă asigură împreună iluminarea necesară în încăperi și locurile de lucru. În aceste condiții, iluminatul de serviciu și de rezervă se alimentează de la aceeași sursă de energie electrică, de la transformatorul serviciilor interne.

În cazul întreruperii alimentării cu energie electrică (debitată de transformatorul respectiv), iluminatul de serviciu se stinge, iar iluminatul de rezervă este comutat pe o sursă independentă de energie electrică. Pentru aceasta, iluminatul de rezervă trebuie să aibă o rețea electrică independentă.

În stațiile mici nu se prevede iluminat electric de rezervă. În aceste stații, precum și în acele încăperi ale centralelor și stațiilor mici în care nu există iluminat de rezervă, în timpul avariilor personalul folosește lămpi portative.

Ca sursă de alimentare independentă, pentru iluminatul de rezervă sînt folosite bateriile de acumulatoare cu tensiunea de 110 și 220 V. În locurile în care este necesar să se suplimenteze iluminatul, în cazul lucrărilor de reparații și în cazul verificării echipamentului, se montează prize care sînt conectate la rețeaua iluminatului de serviciu. Lămpile portative se conectează la aceste prize prin transformatoare coborîtoare portative, cu tensiunea secundară de 24 sau 12 V. Tensiunea de 12 V se folosește pentru lămpile portative în cazul lucrărilor în condiții foarte nefavorabile (lucrări în cazane și rezervoare metalice). Pe platformele cazanelor se prevede o rețea specială de prize cu tensiunea de 12 V, pentru conectarea lămpilor portative.

Puterea consumată pentru iluminatul electric al centralelor de putere medie și mare este de aproximativ 5—7% din întreaga putere consumată pentru serviciile interne. Puterea consumată de iluminatul de rezervă al centralei este în medie de aproximativ 15% din puterea consumată de întregul iluminat al centralei respective.

Capitolul 18

# CAMERA DE COMANDĂ ȘI CIRCUITELE SECUNDARE

Camerele de comandă sînt spații special amenajate destinate asigurării controlului și supravegherii permanente a instalațiilor din centrale și stații electrice, precum și efectuării manevrelor impuse de evenimentele de exploatare. Ele sînt dotate cu necesarul de aparataj de : control, măsurare, semnalizare, comandă, protecție și automatizări, care asigură personalului de exploatare toate informațiile, pe baza cărora pot lua decizii de conducere și exploatare corectă și economică a instalațiilor.

În *centralele termoelectrice mari* pot fi mai multe camere de comandă, astfel :

— una sau mai multe camere de comandă pentru instalațiile termomecanice. De regulă, se execută o cameră de comandă pentru două sau patru blocuri ;

— o cameră de comandă pentru instalațiile electrice ;

— o cameră de comandă centrală de dispecer sau pentru inginerul de serviciu ;

— o cameră de comandă pentru instalațiile electrice ale serviciilor auxiliare.

Numărul camerelor de comandă se stabilesc după criterii tehnico-economice ținîndu-se seamă de cerințele de exploatare.

În *centralele hidroelectrice*, în general, există o singură cameră de comandă atît pentru instalațiile hidrotehnice, cît și pentru cele electrice. În cazul în care stația electrică de transformare a centralei este la distanță față de centrală, atunci se construiesc două camere de comandă, una pentru centrală și una pentru stație.

În *stațiile electrice de transformare* există o singură cameră de comandă.

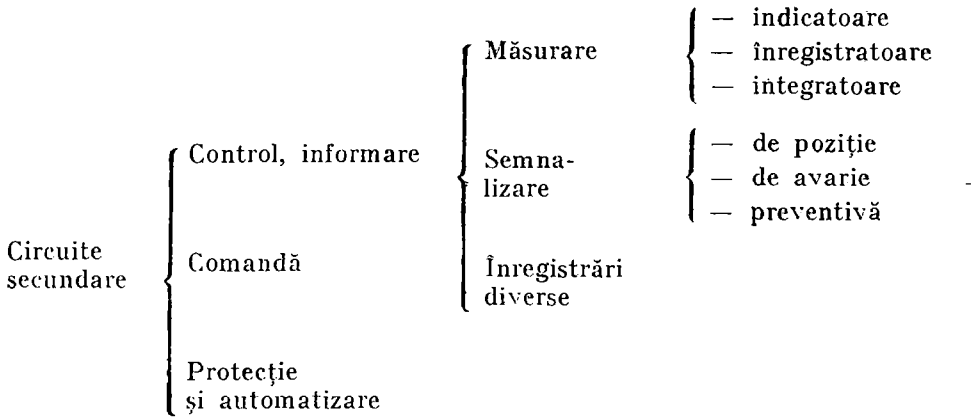
În camerele de comandă ale centralelor și stațiilor electrice există și mijloace de comunicații, atît cu personalul de supraveghere de la punctele principale din instalații, cît și cu dispecerul regional sau național.

## A. CIRCUITE SECUNDARE

Ansamblul legăturilor electrice la aparatele din camera de comandă formează circuitele secundare ale centralelor sau stațiilor electrice.

## 1. Funcțiuni și categorii de circuite secundare

Circuitele secundare au următoarele categorii principale de funcțiuni:




În funcție de locul în care se montează aparatele aferente, circuitele secundare se clasifică în: complet centralizate, parțial descentralizate și complet descentralizate.

*Circuite secundare complet centralizate*, reprezentînd soluția cea mai bună pentru exploatare, cînd toate aparatele aparținînd circuitelor secundare sînt concentrate în camera de comandă.

Această soluție prezintă *avantajele*:

— supravegherea ușoară și posibilitatea cunoașterii permanente a parametrilor și regimului de funcționare a instalațiilor;

— posibilitatea asigurării microclimatului necesar aparatelor, unele fiind foarte sensibile.

Soluția are și unele *dezavantaje*:

— costuri ridicate, dată fiind lungimea mare a cablurilor de legătură, a canalelor de cabluri și suprafața mare a camerei de comandă;

— în caz de incendiu este periclitată funcționarea întregii instalații.

*Circuite secundare parțial descentralizate*, la care o parte dintre aparatele aferente circuitelor secundare se montează în imediata apropiere a aparatelor de înaltă tensiune, în cutiile de cleme, pe pereții frontali ai celulelor sau în cabine special construite. Aparatele care pot fi luate în considerație pentru montaj descentralizat sînt: releele de protecție, instalațiile de automatizare, aparatele de măsurat înregistratoare, contoarele pentru măsurarea energiei electrice și altele. Se observă că se montează descentralizat aparatele care nu trebuie să se găsească în permanență în apropierea operatorului de la camera de comandă.

*Circuite secundare complet descentralizate*, soluție în care toate aparatele aferente circuitelor secundare se montează în cabine și dulapuri special amenajate și amplasate în imediata vecinătate a aparatelor de înaltă tensiune. Această soluție se folosește rar și în special la stațiile electrice de transformare fără personal permanent de exploatare.

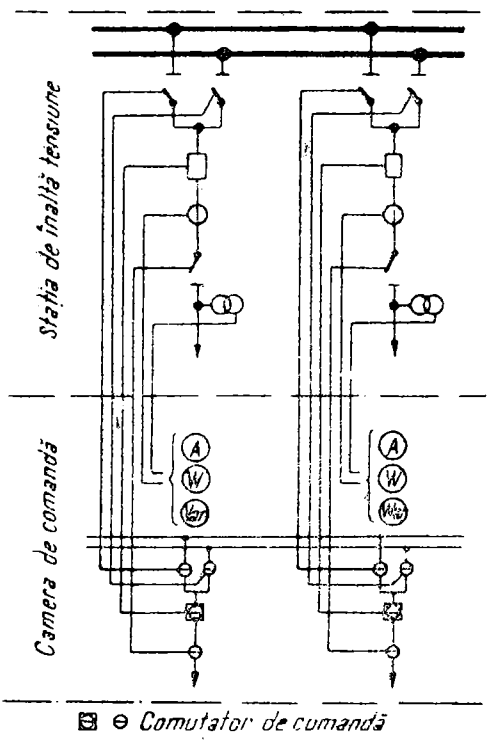



Fig. 18.1. Schema de principiu a unei stații electrice cu circuite secundare individuale avînd întreruptoarele și separatoarele comandate la distanță.

## 2. Principii de realizare a circuitelor secundare

Circuitele secundare pot fi concepute și realizate ca :

— circuite individuale ;

— circuite cu preselecție ;

— circuite cu testare.

**Circuite individuale** sînt circuitele în care fiecare circuit primar (generator, transformator, celulă) are propriile sale circuite secundare, precum și aparatele aferente acestora.

În figura 18.1 este reprezentată schema de principiu a unei stații electrice cu sistem dublu de bare și două celule de linii, avînd circuite individuale. Se observă că la camera de comandă se află aparatele de măsurat, de comandă și de semnalizare, separat pentru fiecare celulă, precum și circuitele proprii de legătură. Această soluție de realizare a circuitelor secundare prezintă următoarele *avantaje* :

— oferă o vedere de ansamblu a întregii instalații ;

— ușurează operațiile de supraveghere și de comandă pentru personalul de exploatare, reducînd în același timp numărul greșelilor la efectuarea manevrelor ;

— ușurează depistarea defectelor în circuitele secundare și nu afectează decît circuitul primar respectiv.

Are însă *dezavantajul* unui număr mare de aparate în camera de comandă și de cabluri de legătură.

În cazul în care circuitele secundare sînt parțial sau total descentralizate se aplică de regulă soluția cu circuite individuale.

**Circuite cu preselecție** sau cu alegere sînt circuite care folosesc un număr redus de aparate de măsurat și de comandă, permițînd operatorului din camera de comandă să le conecteze după dorință la oricare circuit primar. Operația prealabilă conectării se numește preselecție sau alegere.

În figura 18.2 este reprezentată schema de principiu a unei stații electrice (cu două celule de linii) cu preselecția celulei. Se observă că în camera de comandă (punctul central de conducere ) există un singur grup de aparate de măsurat și de comandă și un buton de preselecție cu autoreținere *BP* pentru fiecare circuit. Prin apăsarea unuia dintre butoanele de preselecție, grupul central de aparate este conectat la circuitul respectiv, permițînd efectuarea citirii aparatelor de măsurat sau comenzile la distanță.

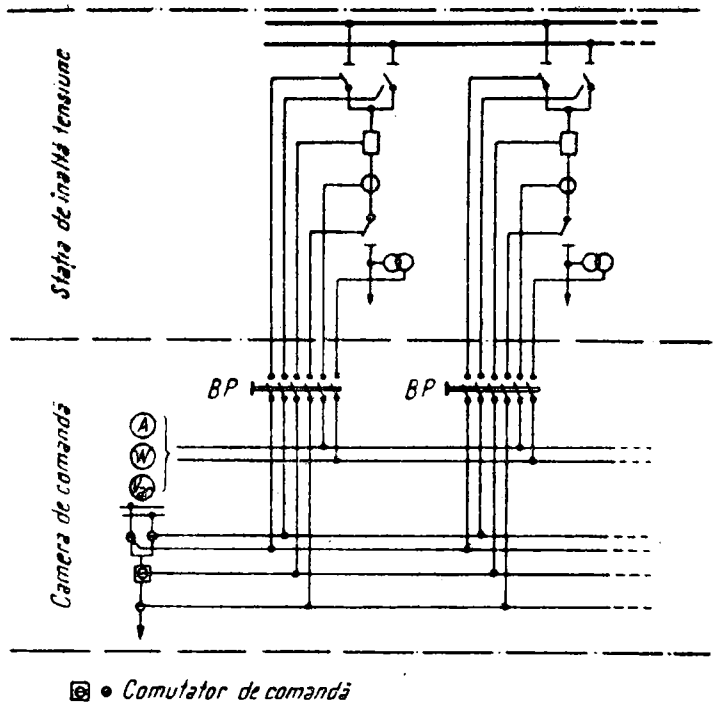



Fig. 18.2. Schema de principiu a unei stații electrice cu preselecția celulei cu număr redus de conductoare.

Utilizarea circuitelor secundare cu preselecție impun însă rezolvarea următoarelor probleme:

— instalații separate pentru semnalizarea poziției aparatelor de comutare;

— asigurarea închiderii înfășurărilor secundare ale transformatoarelor de curent atunci cînd grupul central de aparate nu este conectat la acesta;

— realizarea unor blocaje mecanice sau electrice între butoanele de preselecție pentru a nu permite acționarea simultană a două sau mai multe butoane.

Principalele *avantaje* ale utilizării circuitelor secundare cu preselecție sînt:

— reducerea numărului de aparate la punctul de conducere al instalației, fapt care atrage după sine micșorarea suprafeței construite, cuprinderea mai ușor în conul vizual al operatorului a tuturor aparatelor și efectuarea comenzilor dintr-un singur punct;

— reducerea numărului de cabluri de legătură între circuitele primare și camera de comandă.

Circuitele secundare cu preselecție au însă și *dezavantajele*:

— o defecțiune în circuitele secundare afectează întreaga instalație, fapt care obligă uneori proiectantul să prevadă grupuri de aparate și circuite de rezervă;

— necesită unele aparate complicate ;

— probabilitatea mai mare de greşeli în efectuarea manevrelor, decît în cazul circuitelor individuale.

**Circuite cu testare.** Pentru semnalizarea preventivă se aplică circuite cu testare care au acelaşi scop ca şi circuitele cu preselecţie.

În figura 18.3 este arătată dispoziţia aparatelor de semnalizare preventivă în varianta semnalizare individuală şi în varianta semnalizare cu testare.

Semnalizările preventive se asigură cu ajutorul releelor-clapetă, a casetelor de semnalizare sau cu lămpi de semnalizare individuale. La instalaţiile mari cu multe circuite primare, numărul semnalizărilor preventive este foarte mare. În exemplul din figura 18.3, *a* s-a considerat o instalaţie cu zece circuite primare identice, avînd fiecare cîte şase semnale preventive. În total sînt prevăzute 60 de relee-clapetă.

Prin utilizarea circuitelor cu testare sînt necesare numai două grupuri de casete : (fig. 18,3, *b*) rîndul de sus cu zece casete (cîte o casetă pentru fiecare circuit) şi rîndul de jos cu şase casete (cîte una pentru fiecare semnal).

Modul de funcţionare a circuitelor cu testare este următorul :

— toate casetele sînt în mod normal stinse. La apariţia unui semnal preventiv, începe să pîlpîie o casetă din rîndul de sus, indicînd circuitul primar în care a apărut anomalia, precum şi o casetă din rîndul de jos, indicînd natura semnalului. Concomitent apare şi un semnal acustic ;

— prin apăsarea pe butonul $B_1$ se anulează semnalul sonor, iar după luarea la cunoştinţă, se anulează şi semnalul optic prin apăsarea pe butonul $B_2$. Toate casetele rămîn stinse ;

— semnalele preventive corespunzătoare anomaliilor nerezolvate rămîn înregistrate în memoria instalaţiei (memorie asigurată prin relee interme-

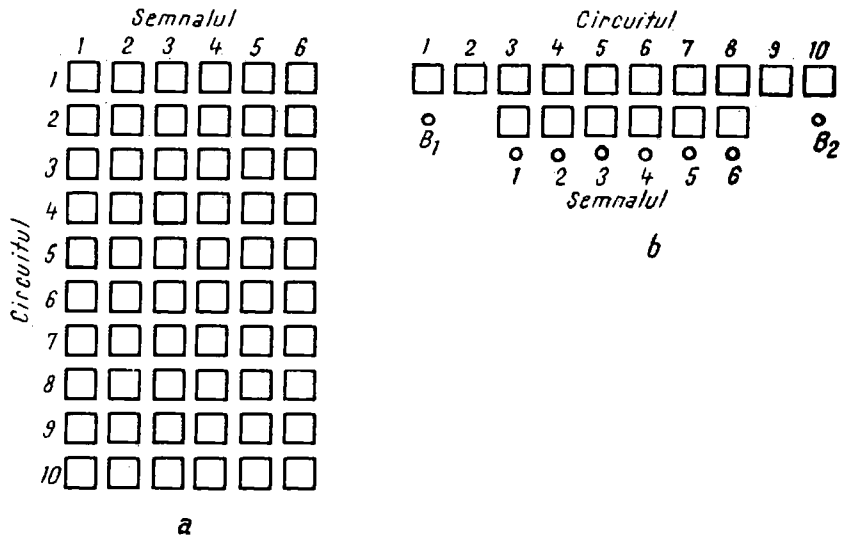



Fig. 18.3. Dispoziţia aparatelor de semnalizare preventivă în două variante : *a* — semnalizare individuală ; *b* — semnalizare cu testare.

diare electromecanice obișnuite). Pentru a se pune în evidență semnalele de o anumită natură, se apasă pe butonul de testare corespunzător (unul dintre cele șase) ceea ce face să se lumineze continuu casetele din rîndul de sus aferente circuitelor la care există semnalul preventiv, corespunzător butonului de testare pe care s-a apăsat. Iluminarea casetelor dispare odată cu revenirea butonului.

## B. APARATAJ ELECTRIC ȘI SCHEME DE CONEXIUNI

Aparatele electrice, aferente circuitelor secundare, permit personalului de serviciu din stații și centrale să cunoască în permanență modul de funcționare a instalațiilor și starea acestora, precum și efectuarea manevrelor necesare.

Principalele aparate electrice necesare sînt următoarele:

— aparate de măsurat și de control;
— aparate de comandă;
— aparate de semnalizare;
— aparate pentru protecții și automatizări.

În toate stațiile și centralele electrice există de asemenea mijloace de comunicații și uneori și instalații de telemecanică.

### 1. Aparate de măsurat și de control

Aparatele de măsurat și de control montate în camerele de comandă ale stațiilor și centralelor electrice asigură:

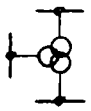
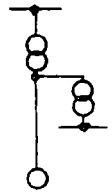
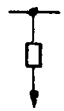
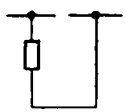
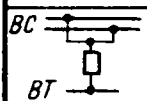
— controlul sarcinii pe circuitele primare (generator, transformator, linie etc.) în scopul prevenirii regimurilor anormale (suprasarcini);
— controlul calității energiei (tensiune, frecvență);
— controlul parametrilor la punerea în funcțiune (paralel) a generatoarelor, transformatoarelor și a liniilor electrice;
— repartizarea sarcinilor active și reactive pe generatoare și reglajul tensiunii în sistem;
— evidența energiei electrice produsă și cea livrată sistemului;
— înregistrarea variației în timp a unor mărimi electrice, în scopul analizării ulterioare a regimurilor instalațiilor.

În tabelul 18.1 sînt cuprinse aparatele de măsurat minim necesare pe diverse circuite caracteristice.

Aparatele electrice de măsurat se conectează în circuit fie direct, fie indirect, prin intermediul transformatoarelor de măsură.

**Conectarea directă a aparatelor de măsurat** se poate face dacă parametrii circuitului de măsurare (curent, tensiune, putere) nu depășesc parametrii nominali ai aparatelor.

**Aparate de măsurat și de control minim necesare pe diverse circuite**

| Schema circuitului primar | Tensiune kV | Aparate necesare: Indicatoare | Aparate necesare: Înregistratoare | Aparate necesare: Contoare | Observații |
|---|---|---|---|---|---|
|  | 110-400 | A W var | W-var | Wh varh Wh varh | *) Eventual pe 6-20 kV în loc de 35 kV |
| | 35 | A W*) var*) | W-var | Wh varh Wh varh | |
| | 6-20 | A | | Wh varh Wh varh | |
|  | 110-400 | A W var | W-var | Wh varh | *) Pe partea primară a transformatorului de servicii proprii |
| | 6-24*) | A W var | W-var | Wh varh | |
| | 6 | A | | | |
| | 6-24 | A A A V W var Ae Ve | W-var | Wh varh | |
| | 6 | A | | Wh | |
| | 0,4 | A A A V | | | |
|  | 35-400 | A W var V*) | W-var | Wh varh Wh varh | *) Eventual lampă de semnalizare |
| | 6-20 | A | | Wh Wh | |
| | 0,4 | A | | Wh | |
|  | 220-400 | A | | | |
| | 6-110 | A | | | |
| | 0,4 | A | | | |
|  BC BT | 110-400 | A W var | W-var | Wh varh Wh varh | |
| Bare colectoare  | 110-400 | V f*) | V*) f*) | | *) Numai la centrale sau la stații importante |
| | 6-35 | V f*) $V_0$ $V_0$ $V_0$ | V*) f*) | | |
| | 35 | | A | | |
| > 40 kV | 0,4-6 | A | | | |

Curentul se măsoară cu ampermetrul, care se conectează în serie cu sarcina, iar tensiunea cu voltmetrul, care se conectează în paralel cu sarcina (fig. 18.4).

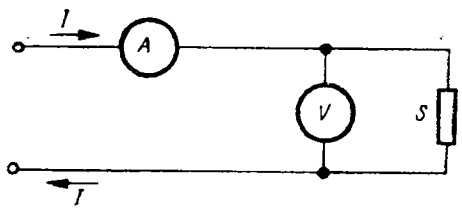


Fig. 18.4. Conectarea directă a ampermetrului și voltmetrului.

Puterea absorbită de consumator, în cazul rețelei de curent continuu, se determină înmulțindu-se valorile indicate de ampermetre și voltmetre. Pentru rețeaua de curent alternativ, puterea se obține înmulțindu-se acest rezultat și cu cos φ (factorul de putere) sau se măsoară cu wattmetrul, conectat la montaj amonte (*a*) sau aval (*b*) (fig. 18.5).

Energia electrică la bornele unor generatoare de puteri mici sau la bornele unor consumatori de puteri reduse se măsoară cu contorul, conectat direct la rețea ca și wattmetrul.

Frecvența se măsoară prin conectarea frecvențmetrului la rețea, în același mod ca și voltmetrul.

Schemele de conexiuni directe a ampermetrelor, voltmetrelor, wattmetrelor și a contoarelor sînt utilizate pentru instalații de joasă tensiune, de putere mică.

**Conectarea indirectă a aparatelor de măsurat** se face prin intermediul transformatoarelor de măsurat.

Ampermetrele și bobinele de curent ale wattmetrelor, varmetrelor și contoarelor se leagă în secundarul treansformatoarelor de curent.

În cazul circuitelor monofazate este suficient un singur transformator de curent; o bornă a înfășurării secundare se leagă la pămînt, pentru a se reduce pericolul de electrocutare.

În cazul circuitelor trifazate transformatoarele de curent se conectează astfel:

— numai pe o singură fază, în circuitele cu consum egal pe faze (fig. 18.6, *a*);

— pe fazele extreme, în rețelele de medie tensiune cu neutrul izolat, economisindu-se astfel un transformator (fig. 18.6, *b*);

— pe toate cele trei faze, în rețelele importante, cu neutrul legat la pămînt (fig. 18.6, *c*).

Ampermetrele din figura 18.6 măsoară curenții pe fază, atît în cazul în care ei sînt egali, cît și în cazul rețelelor neechilibrate.

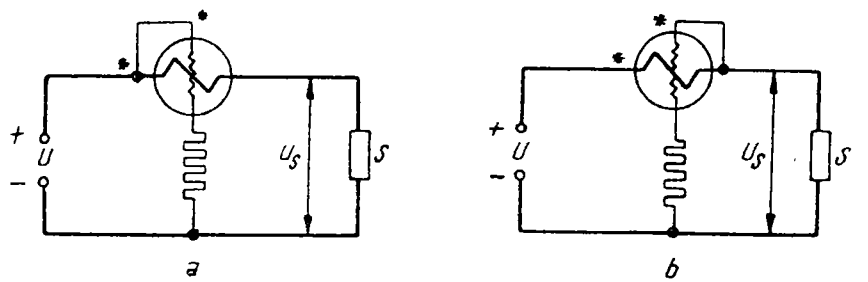


Fig. 18.5. Conectarea directă a wattmetrului.

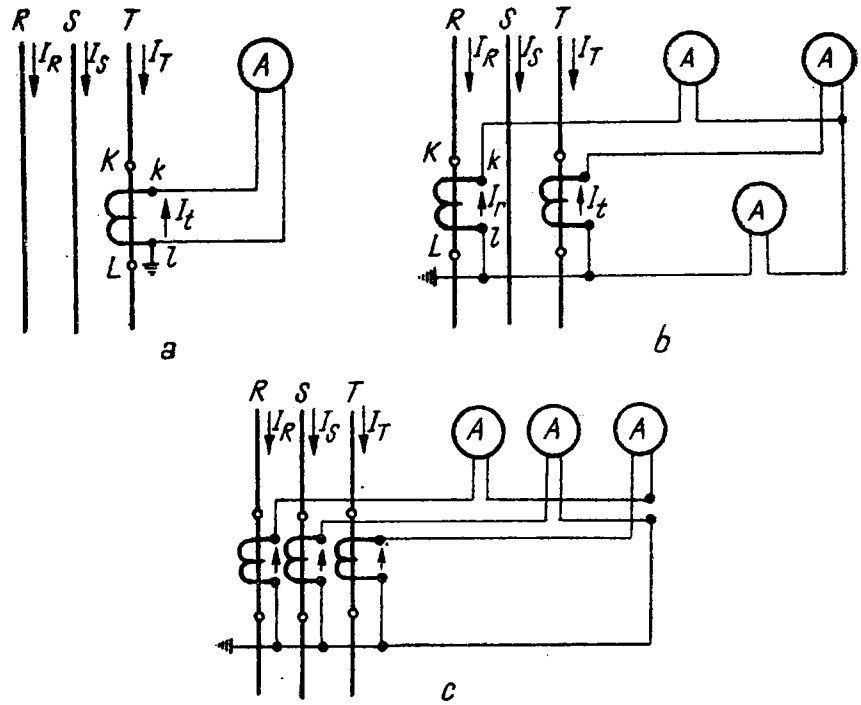



Fig. 18.6. Scheme de conexiuni ale transformatoarelor de curent pentru conectarea indirectă a ampermetrelor.

La montarea transformatoarelor de curent trebuie să se respecte aceeaşi ordine de conexiune: în circuitul primar „intrările" prin bornele *K* şi „ieşirile" prin bornele *L*, şi analog, în secundar. Ordinea de legare a bornelor trebuie mai ales respectată la legarea bobinelor de curent ale wattmetrelor şi contoarelor.

În figura 18.7 sînt reprezentate principalele moduri de conectare ale transformatoarelor de tensiune. În toate schemele o bornă a bobinajului secundar se leagă la pămînt, pentru a se garanta securitatea personalului şi a aparatelor.

Schema din figura 18.7, *a* se utilizează în instalaţiile monofazate, precum şi cele trifazate, cînd este necesară şi suficientă numai cunoaşterea tensiunii între faze.

În figura 18.7, *b* este prezentat un mod de conexiune utilizînd două transformatoare de tensiune conectate în V; această schemă se utilizează în reţelele cu neutrul izolat sau legat la pămînt, prin bobină de stingere de 6—35 kV.

Schema din figura 18.7, *c* reprezintă un transformator trifazat, conectat în stea, atît la partea de înaltă cît şi pe partea de joasă tensiune; cu această schemă se pot alimenta aparatele de măsurat numai cu tensiunea între faze.

Schema din figura 18.7, *d* este utilizată în cazul transformatoarelor cu cinci coloane, la care bobinajul primar se conectează în stea cu neutrul legat la pămînt; înfăşurările secundare se leagă în stea, iar înfăşurările auxiliare

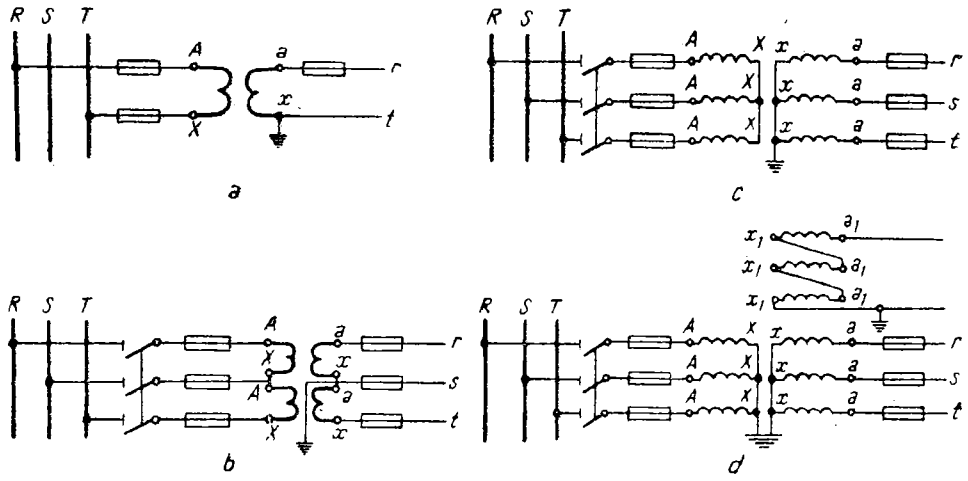



Fig. 18.7. Scheme de conexiuni ale transformatoarelor la tensiune pentru conectarea indirectă a voltmetrelor.

au conexiunea în triunghi deschis. Schema permite măsurarea tuturor tensiunilor. Conexiunea în triunghi deschis permite controlul izolației, deoarece între bornele ei apare o tensiune numai atunci, cînd o fază sau două ale rețelei sînt puse la pămînt.

Secundarele transformatoarelor sînt protejate prin siguranțe fuzibile împotriva supraîncărcărilor sau a scurtcircuitelor.

Siguranțele din primarul transformatoarelor de tensiune au rolul de a proteja rețeaua în cazul unui scurtcircuit în transformatorul respectiv; la tensiuni de peste 35 kV se poate renunța la aceste siguranțe din primar, întrucît construcția transformatoarelor devine foarte sigură.

Conectarea wattmetrelor și a contoarelor prin transformatoare se poate întîlni în următoarele situații:

— tensiunea circuitului este egală cu tensiunea nominală a bobinei de tensiune a wattmetrului sau a contorului, dar curentul de sarcină depășește pe cel al bobinei de curent a aparatului; în acest caz, bobina de tensiune se conectează direct la tensiunea rețelei, iar bobina de curent, printr-un transformator de curent. Aceasta poate avea loc în cazul circuitelor de forță de 380/220 V, cînd curentul de sarcină este mai mare de 5 A;

— tensiunea nominală a circuitului este mai mare decît a aparatului, dar curentul este cuprins în limitele de 0—5 A; în acest caz, bobina de curent se conectează în serie cu circuitul, iar bobina de tensiune printr-un transformator de tensiune. Acest caz este mai rar întîlnit, folosindu-se atunci cînd tensiunea nu depășește 500 V;

— tensiunea nominală și curentul din circuit depășesc pe cele admisibile ale aparatelor, în care caz bobina de tensiune se leagă la un transformator de tensiune, iar bobina de curent la un transformator de curent.

**Scheme de conexiuni ale aparatelor de măsurat.** În figura 18.8 este reprezentată schema de principiu de conectare a aparatelor de măsurat, pentru o linie electrică racordată la un sistem dublu de bare. Se observă modul de le-

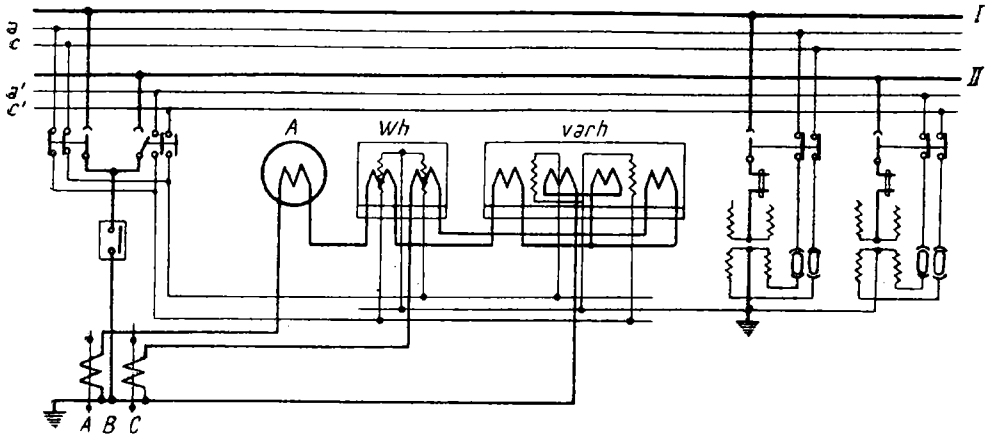



Fig. 18.8. Schema de conectare a aparatelor de măsurat ale liniilor în cazul a două sisteme de bare.

gare a bobinelor de curent ale ampermetrului, contorului de energie activă şi a celui de energie reactivă la transformatoarele de curent montate pe fazele extreme ale liniei, precum şi modul de legare a bobinelor de tensiune ale acestora, la cele două transformatoare de tensiune (cîte unul pentru fiecare bară).

Pentru evitarea greşelilor la trecerea liniei de pe o bară pe alta, alimentarea bobinelor de tensiune de la baretele de tensiune (*ac* ; *a'c'*) trece prin bloccontactele separatoarelor liniei.

La rîndul lor baretele de tensiune sînt alimentate de secundarul celor două transformatoare de tensiune cu trecere prin bloccontactele separatoarelor de pe partea primară a acestora.

**Controlul stării izolaţiei în circuitele de curent alternativ.** Această operaţie se referă la controlul punerilor la pămînt şi se efectuează numai în reţelele cu curenţi mici de punere la pămînt (reţele cu neutrul izolat sau tratat prin bobină de stingere). Pentru reţelele cu neutrul legat la pămînt, punerea unei faze la pămînt reprezintă un scurtcircuit monofazat, deci o avarie care trebuie neîntîrziat deconectată şi aceasta se face prin acţionarea protecţiei prin relee. Pentru reţelele cu curenţi mici de punere la pămînt, punerea unei faze la pămînt nu produce o modificare sensibilă în circulaţia curenţilor, însă provoacă o creştere a potenţialelor conductoarelor sănătoase. Potenţialul ridicat faţă de pămînt al fazelor sănătoase solicită izolaţia liniilor, ceea ce poate să aibă ca urmare apariţia unor noi străpungeri. Din această cauză, funcţionarea liniei cu o fază pusă la pămînt un timp îndelungat nu este admisibilă. Prin urmare, în instalaţii trebuie să existe posibilităţi de semnalizare a apariţiei unei puneri la pămînt.

Punerile la pămînt se determină în general, cu ajutorul unor montaje în care se folosesc ca aparate de măsurat *voltmetrele*.

În *reţelele cu tensiunea pînă la 380 V*, voltmetrele se conectează direct în circuitul principal, aşa cum se arată în figura 18.9. În primul montaj (fig. 18.9, *a*) se folosesc *trei voltmetre*, care indică în permanenţă tensiunile fazelor. Atunci cînd una dintre faze este pusă la pămînt, voltmetrul core-

punzător indică zero. În al doilea montaj (fig. 18.9, *b*) se folosește *un singur voltmetru*, care poate fi conectat pe rînd la cele trei faze, cu ajutorul unui comutator.

În *rețelele cu tensiunea mai mare de 380 V*, voltmetrele se conectează în circuitele secundare ale transformatoarelor de tensiune, ca în figura 18.10. Transformatoarele de tensiune monofazate se conectează în stea-stea, iar neutrele lor se leagă la pămînt. Legarea la pămînt a neutrului înfășurării primare este necesară pentru ca în înfășurarea secundară să se poată măsura tensiunile pe faze, adică față de pămînt. Legarea la pămînt a neutrului înfășurării secundare este necesară din motive de securitate. Determinarea punerilor la pămînt se face pe baza indicațiilor unor voltmetre, la fel ca în montajul din figura 18.9.

Transformatorul monofazat de tensiune, utilizat în schema din figura 18.10 are trei înfășurări : primară, secundară și terțiară. Înfășurarea terțiară se montează în triunghi deschis, iar capetele libere se conectează la un releu maximal de tensiune, al cărui contact închide un circuit de semnalizare.

La funcționarea în regim normal, fără punere la pămînt, suma fluxurilor magnetice din circuitele magnetice ale transformatoarelor este nulă, deoarece și suma tensiunilor pe faze este nulă. În aceste condiții, suma tensiunilor electromotoare induse în înfășurarea montată în triunghi deschis este, de asemenea, nulă și releul nu semnalizează.

La funcționarea cu o punere la pămînt, de exemplu pe faza *R*, fazele sănătoase au față de pămînt potențialele $V_{SR}$ și $V_{TR}$, astfel încît suma potențialelor a fazelor liniei (față de pămînt) este :

$$V_{SR} + V_{TR} = V_S - V_R + V_T - V_R = -3V_R + (V_R + V_S + V_T) = 3V_R.$$

În aceste condiții suma fluxurilor din cele trei circuite magnetice nu mai este nulă, ci proporțională cu $3V_R$. În înfășurarea terțiară montată în triunghi deschis se induce o tensiune electromotoare, astfel încît releul semnalizează

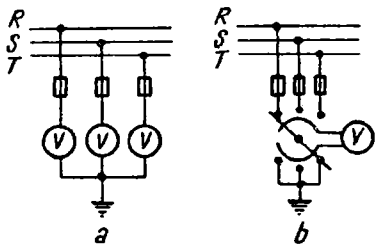



Fig. 18.9. Controlul stării izolației în rețelele de joasă tensiune.

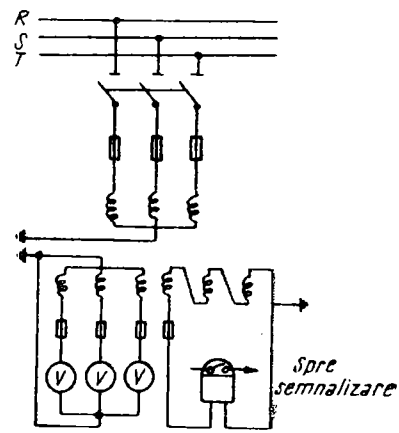



Fig. 18.10. Controlul stării în rețelele de înaltă tensiune.

(face să sune o hupă). La acest semnal acustic, personalul este avertizat că în rețea a apărut o punere la pămînt, pe care urmează să o identifice.

Trebuie menționat faptul că în montajul din figura 18.10 nu este permisă utilizarea transformatoarelor trifazate cu trei coloane ci numai utilizarea unui grup cu trei transformatoare monofazate sau a unui transformator trifazat cu cinci coloane. În cazul transformatorului trifazat cu trei coloane, suma fluxurilor diferite de zero nu-și găsește drum de închidere decît prin aer, fapt ce determină creșterea curenților peste limitele admisibile pentru un transformator de tensiune.

Un alt mod de semnalizare a apariției unei puneri la pămînt îl constituie folosirea *transformatorului de curent homopolar* (fig. 18.11). Acesta se prezintă sub forma unui miez magnetic toroidal, care înconjoară cele trei vine conductoare ale unui cablu. Prin înfășurarea secundară a transformatorului circulă curent numai atunci cînd are loc o punere la pămînt în cablu și există o componentă homopolară de curent.

În rețelele cu curenții mari de punere la pămînt, protecția rețelei împotriva scurtcircuitului monofazat se poate realiza folosindu-se un *filtru de curent homopolar*. Acesta este constituit dintr-un complet de trei transformatoare de curent (fig. 18.12). În cazul apariției unei puneri la pămînt în rețea, curenții din cele trei transformatoare de curent nu mai sînt egali și de aceea releul *I* este parcurs de un curent, comandînd declanșarea întreruptorului.

**Controlul stării izolației în circuitele de curent continuu.** Acest control este necesar pentru a se asigura funcționarea corectă a dispozitivelor de protecție, de comandă și de semnalizare.

În cazul unei singure puneri la pămînt într-un punct al unui circuit de curent continuu, funcționarea acestuia nu este deranjată, însă există pericolul să se producă o a doua punere la pămînt, care provoacă acționarea incorectă a dispozitivelor de protecție.

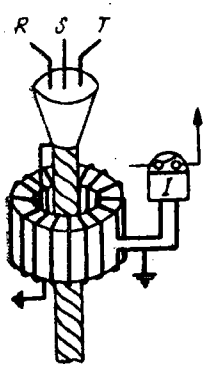



Fig. 18.11. Transformator de curent homopolar.

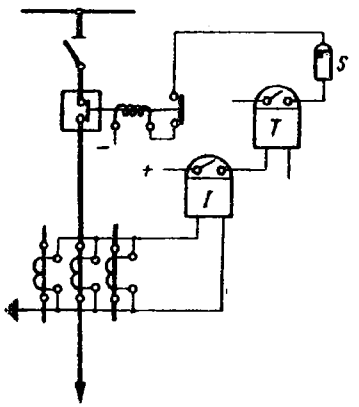



Fig. 18.12. Filtru de curent homopolar.

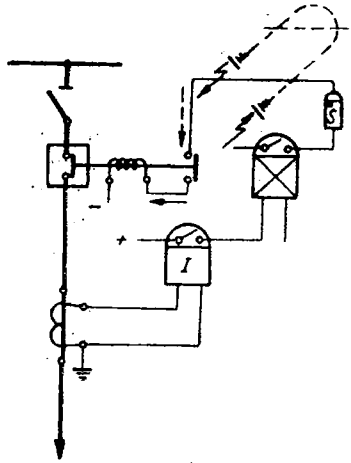


Fig. 18.13: Punerea la pămînt în două puncte ale circuitului de curent continuu.

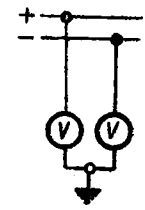


Fig. 18.14. Schemă cu două voltmetre pentru controlul stării izolației în circuitele de curent continuu.

În figura 18.13 este prezentat cazul unui circuit de comandă, pe care au avut loc două puneri la pămînt. Se constată că circuitul de curent continuu se închide prin cele două puneri la pămînt și prin bobina de declanșare a întreruptorului. Întreruptorul declanșează fără ca releul să fie acționat.

Unul dintre *montajele cele mai simple pentru detectarea punerilor la pămînt* în circuitele de curent continuu este reprezentat în figura 18.14. Cele două voltmetre indică în mod normal tensiuni egale, iar în cazul în care are loc o punere la pămînt, ele indică tensiuni inegale. Dezavantajul principal al montajului constă în faptul că, prin punctul de punere la pămînt și prin legătura la pămînt a voltmetrelor ar putea să treacă un curent suficient de mare pentru a provoca acționarea releelor, la fel ca în cazul schemei din figura 18.13.

Un *montaj mai perfecționat pentru detectarea punerilor la pămînt* este reprezentat în figura 18.15. Montajul permite măsurarea rezistenței izolației, iar în cazul în care acesta a scăzut sub o anumită limită se transmite un semnal de avertizare. Montajul cuprinde două părți:

— *partea de semnalizare* care cuprinde două rezistențe egale ($R_1 = R_3 = 1\,000\ \Omega$) și un releu de semnalizare. Cînd rezistențele de izolație față de pămînt a celor două conductoare (+ și —) sînt egale, prin

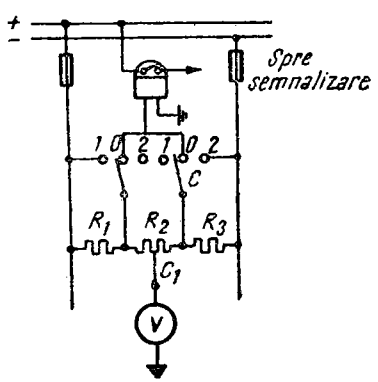



Fig. 18.15. Schemă perfecționată pentru controlul izolației în circuitele de curent continuu.

releu nu circulă curent. Cînd rezistențele de izolație sînt suficient de mult diferite între ele, prin releu circulă curent și acesta își închide contactul de semnalizare;

— *partea de măsurare* este un montaj în punte și cuprinde trei rezistențe egale ($R_1 = R_2 = R_3 = 1\,000\ \Omega$), comutatorul $C$ și un voltmetru gradat în megohmi. În mod normal, cursorul $C_1$ se află în mijlocul rezistenței $R_2$, care joacă rolul de potențiometru. Cînd rezistențele de izolație ale conductoarelor (+ și —) sînt egale, voltmetrul indică zero, oricare ar fi poziția comutatorului $C$. Cînd rezistențele de izolație devin inegale, acul voltmetrului bate la stînga sau la dreapta. Pentru măsurarea rezistenței de izolație a unuia dintre conductoare, comutatorul $C$ se trece pe una dintre pozițiile *1* sau *2* și se reglează potențialul cu $R_2$, pînă cînd voltmetrul indică zero. Trecîndu-se apoi comutatorul pe cealaltă poziție, se citește direct pe scara gradată a voltmetrului, rezistența de izolație a unuia dintre conductoare.

## 2. Comanda aparatelor de comutație

Aparatele pot fi comandate de la distanță în două feluri: prin *comandă de la distanță*, cînd distanța dintre locul de comandă și aparatul comandat este mică (sub 200—250 m) și prin *telecomandă*, cînd această distanță este mare (zeci și sute de kilometri).

Cînd se utilizează comanda de la distanță, influența esențială asupra costului instalației o au aparatele de comandă și nu conductoarele de legătură. În acest caz este rațional să se utilizeze tehnica curenților tari care necesită conductoare de legătură individuale, cu secțiune relativ mare; în schimb, aparatele de comandă sînt simple și ieftine.

La telecomandă, influența asupra costului instalației o au conductoarele de legătură și nu aparatele de comandă. În acest caz este rațional să se utilizeze tehnica curenților slabi, care necesită aparate de comandă mai complicate și mai scumpe, în schimb permite utilizarea unor canale de comunicații comune pentru mai multe aparate.

**Comanda la distanță.** Efectuarea diferitelor manevre cerute în exploatare (punerea sau scoaterea din paralel a unui generator sau transformator, trecerea alimentării unei linii de pe o bară pe alta, scoaterea de sub tensiune a unui circuit etc.) se face prin închiderea sau deschiderea întreruptoarelor și separatoarelor circuitelor primare respective, de către personalul de serviciu din camera de comandă.

Indiferent de locul de amplasare a aparatelor de comutație (întreruptor, separator) în cadrul unei stații sau centrale electrice, acestea au posibilitatea comandării lor de la distanță.

Comanda de la distanță presupune existența în schema de circuite secundare a unui element de comandă, amplasat în camera de comandă și a unui element de execuție a comenzii, amplasat în stația electrică.

Comanda la distanță cuprinde următoarele elemente principale:

— elementul de comandă (chei, butoane de comandă) montat pe tabloul (pupitrul) de comandă din camera de comandă;

— elementul de execuție (dispozitivul de acționare) al aparatului comandat;

— legături și aparate electrice de transmitere a comenzilor.

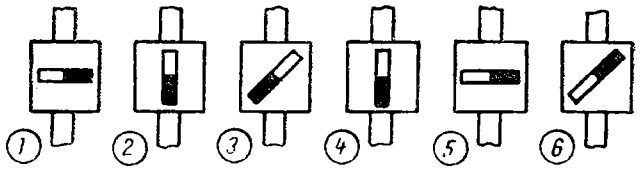



Fig. 18.16. Poziţiile mînerului cheii de comandă pe pupitrul de comandă.

*Elementul de comandă* este un comutator pachet prevăzut cu mai multe contacte, destinate închiderii sau deschiderii unor circuite de comandă, semnalizare etc., numit de regulă *cheie de comandă.*

În cele ce urmează se va descrie modul de lucru al unei chei de comandă cu lampa de semnalizare inclusă şi cu şase poziţii (fig. 18.16).

Pentru exemplificarea modului de lucru cu cheia se consideră situaţia în care această cheie este intercalată în schema de comandă a unui întreruptor.

Pentru poziţia „declanşat" a întreruptorului, cheia se găseşte pe pupitrul de comandă în poziţia stabilă *1* din figura 18.16 şi arde cu lumină continuă. În continuare se va urmări modul de manevrare al cheii pentru o anclanşare şi semnalizarea ce se obţine în acest timp.

Într-o primă etapă, premergătoare, cheia se roteşte cu 90° spre dreapta, în poziţia stabilă *2* (fig. 18.16). Prin aceasta nu este încă dată comanda de anclanşare, dar mînerul cheii este acum intercalat în lungul schemei desenate pe pupitrul de comandă ; pentru a nu se crea confuzii trebuie semnalizată necorespondenţa între poziţia cheii pe pupitru şi poziţia întreruptorului din staţie, ceea ce se realizează optic prin lumina lămpii care devine pîlpîitoare.

Într-o a doua etapă se dă comanda efectivă de anclanşare a întreruptorului, rotindu-se cheia cu încă 45° (poziţia *3*). Poziţia *3* este nestabilă şi prin eliberarea mînerului, cheia revine în poziţia stabilă *4*. De astă dată, existînd corespondenţă între poziţia cheii şi a întreruptorului, lampa arde cu lumină continuă.

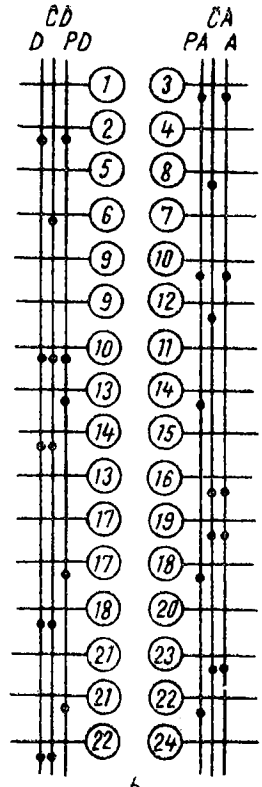
Comanda de declanşare se dă în mod analog, trecîndu-se prin poziţiile *5* şi *6*, pentru a ajunge în final la poziţia *1*.

Din punct de vedere constructiv cheia de comandă este un comutator pachet, prevăzut cu mai multe contacte, destinate transmiterii comenzilor, semnalizării etc. Cheia realizează legături între contactele sale, după cum mînerul ei se află pe una dintre cele şase poziţii distincte. Indicarea legăturilor realizate pentru fiecare dintre cele şase poziţii se face într-un tabel, ca cel din figura 18.17, *a*. Pe schemele de circuite secundare de comandă se poate folosi reprezentarea convenţională din figura 18.17, *b*.

Pe diagrama din figura 18.17, *b* se consideră două contacte oarecare, de exemplu *5—8*. La intersecţia liniei orizontale corespunzătoare poziţiilor cheii se poate afla un punct. Dacă se urmăreşte doar verticala care conţine un astfel de punct, se observă că poziţia cheii la care s-a ajuns astfel (în exemplul considerat *CA*) este poziţia, pe care rotindu-se mînerul cheii se va realiza legătura între contactele considerate (fig. 18.17, *a*).

| Semnul convențional al poziției | Vederea cheii (din față) și schema pachetelor (din spate) în poziția „declanșat" | | 1 2 4 3 | 5 6 8 7 | 9 10 12 11 | 13 14 16 15 | 17 18 20 19 | 21 22 24 23 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tipul minerului și al pach. | P VIII | 1 a | 4 | 6 a | 40 | 20 | 20 |
| | Poziția minerului | | Numărul contactelor | | | | | |
| | | | 1-3 | 2-4 | 5-9 | 6-7 | 9-10 | 9-12 | 10-11 | 13-14 | 14-15 | 13-16 | 17-19 | 17-18 | 18-20 | 21-23 | 21-22 | 22-24 |
| D | Declanșat | | – | X | – | – | – | – | X | – | X | – | – | – | X | – | – | X |
| PA | Pregătit pentru anclanșare | | X | – | – | – | X | – | – | X | – | – | – | X | – | – | X | – |
| CA | Comanda de anclanșare | | – | – | X | – | – | X | – | – | – | X | X | – | – | X | – | – |
| A | Anclanșat | | X | – | – | – | X | – | – | – | – | X | X | – | – | X | – | – |
| PD | Pregătit pentru declanșare | | – | X | – | – | – | – | X | X | – | – | – | X | – | – | X | – |
| CD | Comanda de declanșare | | – | – | – | X | – | – | X | – | X | – | – | – | X | – | – | X |

a




b

Fig. 18.17. Diagrama cheii de comandă :

a — sub formă de tabel ; b — modul de reprezentare convențională a cheii de comandă pe schema electrică.

*Elementul de execuţie* este dispozitivul de acţionare al aparatului de comutaţie primară, care trebuie comandat (întreruptor, separator etc.).

*Scheme electrice pentru circuite de comandă de la distanţă.* Schema de conexiuni electrice dintre tabloul şi elementul de execuţie se numeşte *schema de comandă.* Schemele de comandă cele mai complete sînt cele utilizate pentru comanda la distanţă a întreruptoarelor, deoarece acestea cuprind pe lîngă elementele de comandă şi elemente de automatizare şi semnalizare.

În figura 18.18 este reprezentată schema de principiu, de comandă, a unui întreruptor prevăzut cu dispozitiv de acţionare cu solenoid.

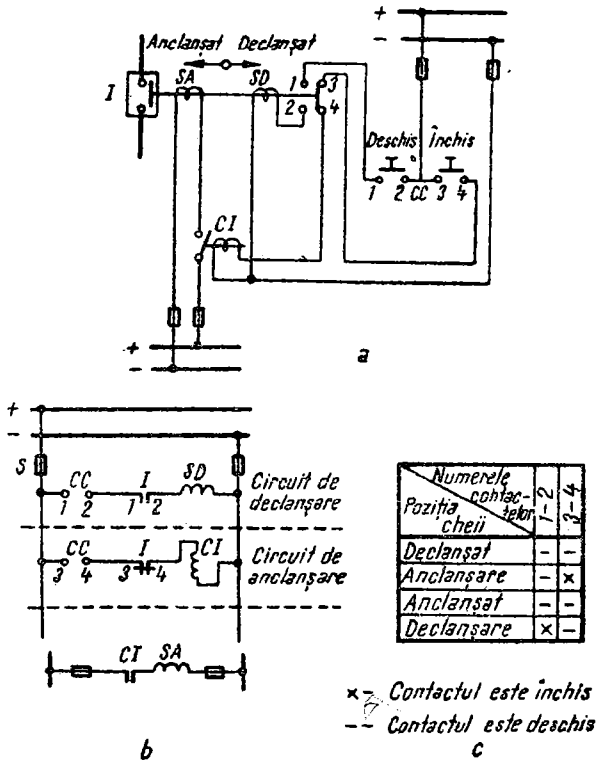



Fig. 18.18. Schema de principiu pentru comanda unui întreruptor :
*a* — concentrată ; *b* — desfăşurată ; c — diagrama cheii de comandă.

Schema se prezintă sub două forme : *concentrată* (fig. 18.18, *a*) şi *desfăşurată* (fig. 18.18, *b*). În forma concentrată se observă că aparatele sînt reprezentate în ansamblu, iar legăturile executate de la aparat la aparat. În schema desfăşurată, aparatele sînt descompuse în elemente componente, iar legăturile prezentate sub forma unor circuite separate, aşezate în rînduri orizontale, în ordinea succesiunii în care funcţionează schema. Circuitele se citesc de la stînga la dreapta şi de sus în jos, ca la citirea unui text.

Din figura 18.18, *a* se observă că în circuitul cheii de comandă *CC* se află contactele $I_{1\text{-}2}$ şi $I_{3\text{-}4}$, care se închid şi se deschid în funcţie de poziţia întreruptorului *I*. Aceste contacte se consideră în stare normală („normal deschise") sau („normal închise") după poziţia pe care o au atunci cînd întreruptorul *I* este deschis. Astfel contactul $I_{1\text{-}2}$ este deschis cînd întreruptorul este deschis şi de aceea el se numeşte contact normal deschis. Contactul $I_{3\text{-}4}$ este închis, atunci cînd întreruptorul este deschis şi deci el este contact normal închis.

În circuitul cheii de comandă se mai află solenoidul de declanşare (deconectare) *SD*, care necesită un curent redus (2—8 A) şi contactul intermediar *CI*. Solenoidul de anclanşare (conectare) *SA* care solicită un curent mare de acţionare (35—490 A) este introdus într-un circuit separat, comandat fiind de contactul intermediar *CI*.

Pentru a se efectua o comandă de închidere a întreruptorului *I* trebuie observat că în schemă aparatele sînt în stare normală, iar întreruptorul *I* este deschis.

Acționîndu-se asupra cheii de comandă „la închidere" se închide contactul $CC_{3-1}$ alimentîndu-se bobina contactorului *CI* și care închide prin contactul *CI* bobina solenoidului de anclanșare *SA*. Întreruptorul se închide și în același timp contactul $I_{3-4}$ se deschide, iar contactul $I_{1-2}$ se închide. Prin deschiderea contactului $I_{3-4}$ se întrerupe circuitul de alimentare al bobinei contactorului *CI*, deschizînd contactul, care întrerupe curentul din solenoidul de anclanșare *SA*.

Deoarece contactul $I_{1-2}$ este închis schema este pregătită pentru comanda ulterioară de deschidere a întreruptorului.

În figura 18.18, *c* este reprezentată diagrama cheii de comandă, din care se poate constata poziția cheii de comandă, în cele patru situații care intervin.

În vederea satisfacerii cerinței de închidere și deschidere automată a întreruptorului în anumite situații cerute de sistem, schema de comandă la distanță se completează cu elemente de automatizare.

În figura 18.19 este reprezentată schema de comandă desfășurată a unui întreruptor. Comanda automată de deschidere și de închidere a întreruptorului se realizează prin releele de protecție *RP*, legate în derivație cu contactele cheii de comandă $CC_{1-2}$ și prin releul de reanclanșare *RA* ale cărui contacte sînt legate în derivație cu contactele cheii de comandă $CC_{3-4}$.

Deci în caz de defecțiuni (scurtcircuite), fără intervenția personalului, prin intermediul releului *RP*, întreruptorul declanșează automat, iar prin intermediul releului *RA* se asigură reanclanșarea automată rapidă a întreruptorului.

Pentru a nu se produce reanclanșări automate ale întreruptorului pe scurtcircuit, în schemă este prevăzut un blocaj electric. În acest scop este folosit un bloc-contact integrat în miezul solenoidului de declanșare. Unul dintre contactele acestuia $SD_{3-4}$ este normal închis, iar celălalt contact $SD_{1-2}$ este normal deschis conform schemei din figura 18.19.

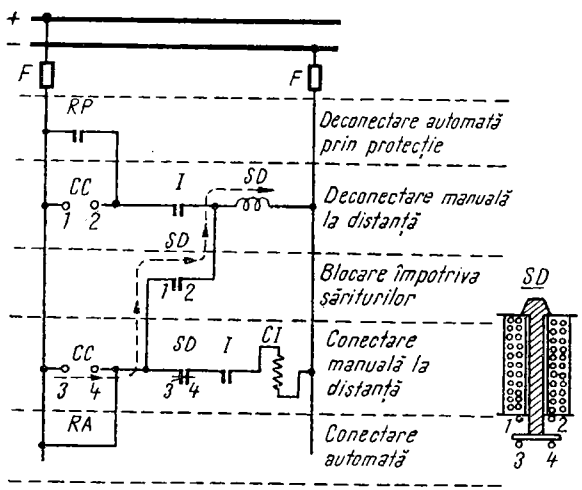



Fig. 18.19. Schema de comandă a unui întreruptor prevăzut cu blocaj electric contra săriturilor :
*RP* — releu de protecție ; *RA* — releu de automatizare.

La transmiterea comenzii de închidere, schema funcționează ca și cea din figura 18.18.

Dacă închiderea întreruptorului a avut loc pe scurtcircuit, releul de protecție *RP* își închide contactele, închizînd circuitul solenoidului de declanșare *SD*. Miezul solenoidului de declanșare *SD* este atras, contactele sale $SD_{3-4}$ nor-

mal închise, se deschid, iar contactele $SD_{1-2}$ se închid, luînd naştere în acest moment circuitul indicat în figură prin săgeţi. Solenoidul de declanşare este deci tot timpul sub tensiune, cît timp contactele cheii de comandă $CC_{3-4}$ sînt închise, adică atîta timp cît se menţine comanda pentru închidere. Contactele $SD_{3-4}$ fiind în acest timp deschise, circuitul de anclanşare este deschis şi întreruptorul nu se închide.

**Telecomanda** se realizează cu ajutorul unor canale de telecomunicaţie şi al unor dispozitive de selecţie a semnalelor. Numărul obiectelor comandate este totdeauna mai mare decît numărul canalelor de telecomunicaţie.

Sistemele de telecomandă pot avea un singur canal de telecomunicaţie, prin care se transmit semnale destinate pentru comanda diferitelor obiecte. Semnalele transmise sînt selectate de către dispozitivul de selecţie, astfel încît fiecare semnal este condus exact la obiectul căruia i-a fost destinat.

La sistemele de telecomandă cu un singur canal de telecomunicaţie selecţia se realizează de cele mai multe ori prin dispozitive speciale de distribuţie a comenzilor sau prin codificarea semnalelor transmise.

## 3. Semnalizarea

Pe tablourile de comandă ale staţiilor şi centralelor electrice sînt prevăzute o serie de semnalizări tehnologice cum sînt:

— semnalizări de poziţii;
— semnalizări de avarie;
— semnalizarea de prevenire;
— semnalizarea acţionării protecţiei şi funcţionării automatizării.

Întregul sistem de semnalizare este concentrat în camera de comandă. El trebuie să fie astfel alcătuit încît personalul de serviciu să poată determina uşor şi rapid caracterul semnalului primit, cum şi locul unde s-a produs schimbarea în schemă, care a provocat apariţia semnalului respectiv.

**Semnalizarea de poziţie.** Pentru ca personalul de serviciu să cunoască în orice moment starea schemei principale a centralei sau staţiei electrice, pe tabloul de comandă trebuie să existe semnalizarea poziţiei întreruptoarelor şi separatoarelor.

În figura 18.20 este reprezentată schema de semnalizare a poziţiei întreruptorului bazată pe principiul corespondenţei între poziţia cheii de comandă

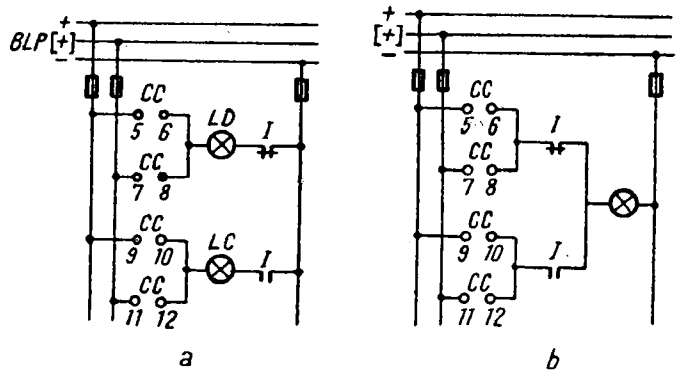



Fig. 18.20. Semnalizarea poziţiei întreruptorului cu ajutorul luminii pilpiitoare:
*a* — cu două lămpi; *b* — cu o singură lampă.

de pe tablou și poziția întreruptorului din stații sau din centrală. În figura 18.20, *a* este reprezentată schema de semnalizare a poziției cu două lămpi de semnalizare montate pe pupitrul de comandă de o parte și de alta a cheii, iar în figura 18.20, *b* schema de semnalizare cu o singură lampă de semnalizare inclusă în cheia de comandă.

Se observă că circuitele de corespondență se leagă de bara pozitivă a sursei de curent continuu, iar cele de necorespondență de bara pozitivă a sursei de curent pulsatoriu.

La corespondență lampa arde cu lumina continuă, iar la necorespondență cu lumină pîlpîitoare.

**Semnalizarea de avarie.** În cazul unui defect pe un circuit primar acesta este scos din funcțiune de către întreruptorul propriu, care declanșează în mod automat.

Declanșarea de avarie a întreruptorului trebuie să fie însoțită de un semnal luminos și de un semnal sonor la camera de comandă. Semnalul sonor este un semnal comun pentru toate circuitele și are scopul de a atrage atenția personalului asupra declanșării care a avut loc, iar semnalul luminos este un semnal individual (pentru fiecare circuit primar) permițînd identificarea întreruptorului care a declanșat.

Schemele electrice de obținere a ambelor semnale se bazează pe principiul necorespondenței între poziția cheii de comandă și poziția întreruptorului declanșat.

Întreruperea semnalelor poate fi făcută prin:

— trecerea cheii de comandă pe poziția de corespondență cu poziția întreruptorului, acțiune care anulează ambele semnale;

— întreruperea semnalului sonor printr-un buton central, menținînd semnalul luminos atît cît este necesar.

**Semnalizarea de prevenire.** Semnalizarea de prevenire are drept scop, atenționarea personalului de serviciu din camera de comandă asupra apariției unui regim anormal în funcționarea instalațiilor.

Semnalizarea de prevenire constă dintr-un semnal sonor comun pentru întreaga cameră de comandă, dar diferit ca sunet de semnalul sonor de avarie și dintr-un semnal luminos individual, sub forma unei casete sau clapete luminoase.

În cazul apariției regimului anormal, pe lîngă semnalul sonor se aprinde și caseta sau clapeta de semnalizare, informînd personalul asupra caracterului și locului în care a apărut regimul anormal.

Semnalele sînt transmise de relee individuale care reacționează la modificarea parametrilor circuitelor în care a apărut regimul anormal.

Regimurile anormale semnalizate de semnalizarea de prevenire sînt:

— supraîncărcarea generatoarelor și transformatoarelor;

— acționarea protecției de gaze a transformatorului;

— creșterea temperaturii uleiului din transformatoare peste limita admisibilă;

— deteriorarea izolației circuitelor de curent alternativ;

— deteriorarea izolației circuitelor de curent continuu;

— deteriorarea circuitelor de tensiune ale protecției prin relee etc.

La apariția semnalelor de prevenire, personalul de serviciu este obligat să ia măsuri pentru revenire la funcționare normală a instalației.

## C. PANOURI ŞI PUPITRE

Aparatele aferente circuitelor secundare se montează pe elemente de susţinere metalice, denumite *panouri* şi *pupitre*. Acestea se montează în camera de comandă grupate în şiruri şi fixate între ele cu şuruburi.

Panourile sînt de tip vertical avînd pe peretele frontal schema circuitului primar — desenată sau figurată prin barete în relief — şi tot aparatajul pentru măsurare, comandă şi semnalizare a circuitului respectiv. În figura 18.21 este reprezentat un panou pentru linii cu tot aparatajul şi schema circuitelor primare.

Pupitrele sînt de dimensiuni mai mici decît panourile verticale şi au faţa superioară înclinată cu 15—20°. Pe acestea se montează, de asemenea, aparatajul necesar şi schemele circuitelor primare.

În unele cazuri se utilizează o combinaţie între panou şi pupitru, pe panou fiind montate aparatele de măsurare şi semnalizare, iar pe pupitru aparatele de comandă.

În figura 18.22 sînt reprezentate cele trei tipuri : panou, pupitru şi panou-pupitru.

**Scheme oarbe şi luminoase.** Schemele circuitelor primare de pe panouri şi pupitre pot fi oarbe şi luminoase. De regulă, se utilizează scheme oarbe. În centralele şi staţiile foarte mari cu circuite primare multiple şi complexe se utilizează scheme luminoase. Acestea diferă de schemele oarbe prin faptul că legăturile între aparate sînt reprezentate prin linii luminoase sau care pot deveni luminoase, indicînd astfel prezenţa tensiunii în circuitele primare.

Schema luminoasă permite o înţelegere uşoară a situaţiei, reducînd greşelile de manevră şi lichidarea rapidă a avariilor. Are însă dezavantajul unui consum mare de energie electrică şi o întreţinere greoaie. Pentru eliminarea acestor dezavantaje se utilizează fie scheme luminoase numai la cerere sau în cazul manevrelor, fie scheme slab luminate în mod normal şi puternic luminate în caz de manevre sau avarii.

Claritatea şi mărimea schemelor de pe panouri şi pupitre trebuie să permită personalului de exploatare o cuprindere şi cunoaştere uşoară şi permanentă a situaţiei instalaţiilor pe care le conduce.

**Construcţia panourilor şi pupitrelor.** Panourile şi pupitrele se execută de întreprinderi specializate. Ele sînt complet echipate cu aparatajul necesar şi legăturile interne executate.

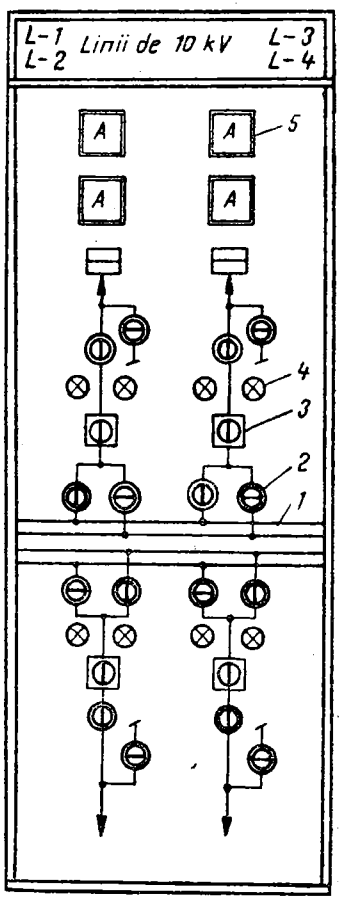



Fig. 18.21. Panou de comandă pentru patru linii :

*1* — benzi aplicate reprezentînd barele colectoare ; *2* — semnalizator de poziţie pentru separator (deschis) ; *3* — cheie de comandă pentru întreruptor ; *4* — lampă de semnalizare pentru întreruptor ; *5* — ampermetru.

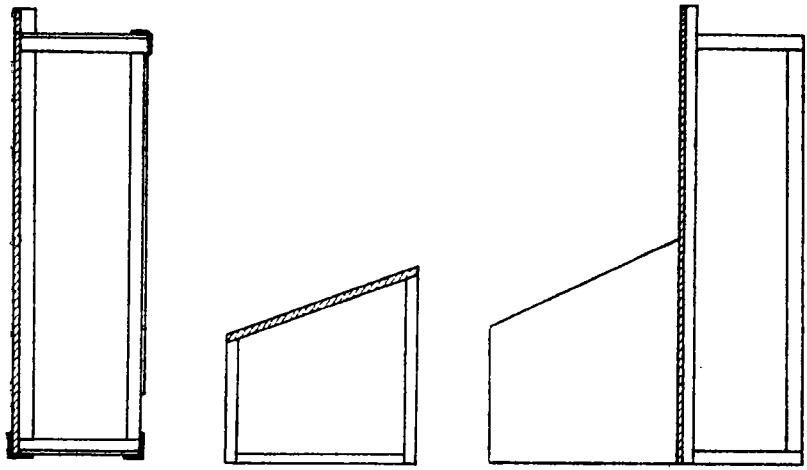



Fig. 18.22. Elemente de susținere ale aparatelor :
*a* — panou; *b* — pupitru; c — panou-pupitru.

În camera de comandă panourile și pupitrele se fixează pe locul indicat pe plan și se efectuează legarea electrică a acestora la instalații.

Scheletul panourilor și pupitrelor este metalic (din corniere sudate), iar fața acestora poate fi din tablă, sticlă sau plexiglas. Cea mai mare utilizare o are însă tabla.

Sistemele constructive ale panourilor și pupitrelor sînt următoarele :

— sistemul realizat prin montarea pe fața panoului a aparatajului și schemei caracteristice instalației, fără posibilități de modificări ulterioare ;

— sistemul modular (mozaic) la care fața panoului sau a pupitrului este alcătuită din mici elemente pătrate sau dreptunghiulare (casete), așezate unul lîngă altul și fixate pe un suport metalic sub formă de grătar sau de bare paralele.

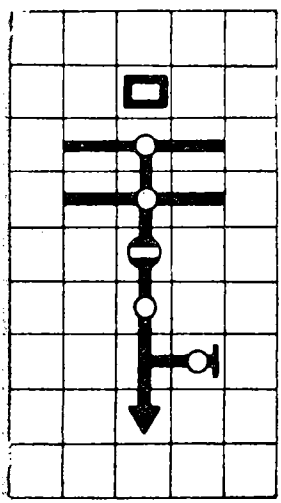


Fig. 18.23. Model de tablou de comandă și semnalizare tip mozaic.

Modulele conțin diverse simboluri oarbe sau luminoase sau permit montarea a cîte unui aparat de măsurat, de comandă sau de semnalizare. Cu astfel de modul se pot construi scheme oarbe sau luminoase oricît de complicate.

În figura 18.23 este reprezentat un model de panou de tip mozaic.

Sistemul de construcție modular cere o execuție foarte atentă, aparataj de dimensiune redusă, precum și costuri ridicate.

## D. CAMERA DE COMANDĂ

Panourile și pupitrele trebuie astfel amplasate în camera de comandă a centralei sau stației electrice, încît în spațiul central (conturul operativ)

să se găsească obligatoriu aparatele de măsurat indicatoare, cele de semnalizare de orice natură precum și cele de comandă.

În figura 18.24 este reprezentată dispoziția generală a unei camere de comandă pentru o stație electrică de 220/110/10 kV.

În centrul camerei de comandă se află un pupitru-birou pentru două persoane care poată să aibă numai aparatele de comandă a principalelor întreruptoare sau în unele cazuri și unele aparate de măsurat importante.

Se observă din aceeași figură că panourile cu aparatajul de protecție și automatizare sînt amplasate în spatele panourilor centrale.

Desenul cuprinde și dimensiunile principale ale camerei de comandă precum și cele pentru amplasarea panourilor din spațiul central.

**Amplasarea camerei de comandă.** În cadrul unei centrale termo- sau hidroelectrice, camera de comandă este astfel amplasată încît să asigure:

— lungimi minime ale cablurilor de circuite secundare;

— accesul ușor de la platforma de deservire a agregatelor principale (turbo- și hidrogeneratoare);

— posibilitatea desfășurării normale a circuitelor tehnice și electrice din centrale.

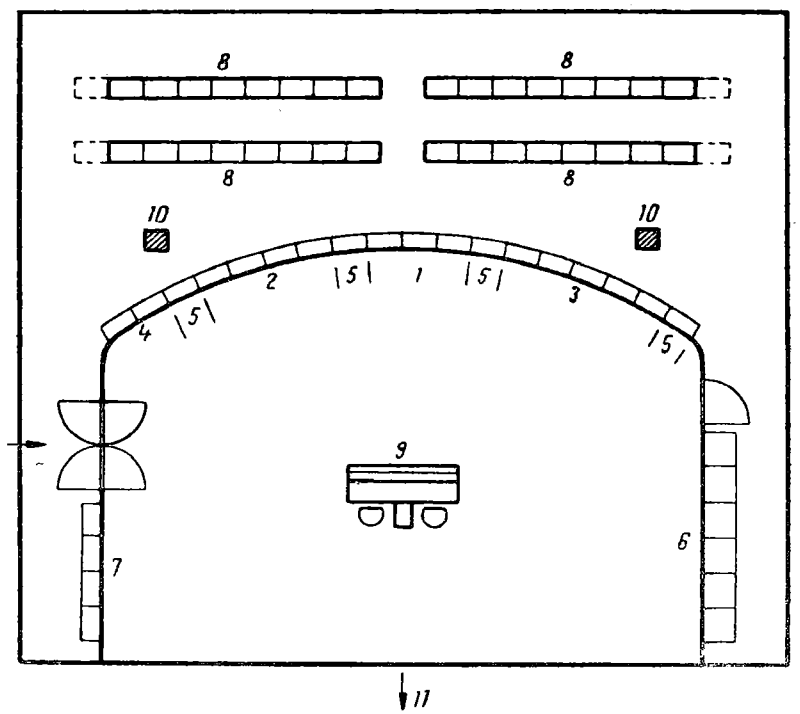



Fig. 18.24. Dispoziția generală a unei camere de comandă electrică la o stație de 220/110/10 kV:

*1* — partea de 220 kV; *2* — partea de 110 kV; *3* — partea de 10 kV; *4* — semnalizări; *5* — rezerve; *6* — servicii proprii; *7* — aparate înregistratoare și contoare; *8* — protecție și automatizări; *9* — pupitru-birou; *10* — stîlpi de susținere; *11* — vedere spre stațiile exterioare.

La amplasarea și realizarea camerelor de comandă din centralele electrice trebuie să se aibă în vedere evitarea pe cît posibil a zgomotelor și de asemenea eliminarea vibrațiilor.

La amplasarea camerelor de comandă din stațiile electrice de transformare trebuie să se aibă în vedere pe lîngă obținerea unor circuite ale cablurilor electrice cît mai scurte și următoarele:

— să permită o racordare ușoară a stației la sistemul electroenergetic;

— să asigure posibilități de dezvoltare ulterioară a stației la aceeași tensiune sau la tensiuni superioare;

— să ocupe o suprafață de teren cît mai mică și pe cît posibil în perimetrul instalațiilor.

În general, amplasarea camerelor de comandă în stații și centrale electrice face parte din problemele generale de amplasare a acestor obiective energetice și trebuie analizați toți factorii care contribuie la realizarea acestora în mod unitar și optimizat din punct de vedere economic și al siguranței de funcționare.

**Podul de cabluri.** La centralele și stațiile electrice mari, este necesar un număr foarte mare de cabluri de circuite secundare și de forță, care intră în corpul camerei de comandă. Acest fapt impune ca sub camera de comandă să existe un spațiu construit și amenajat special, pentru trecerea acestor cabluri și care se numește *pod de cabluri*. Intrările cablurilor în podul de cabluri se fac prin tuneluri sau canale de cabluri. În podul de cabluri, cablurile se pozează pe rastele metalice, separate pe direcții, tensiuni și utilități.

Dată fiind aglomerarea mare de cabluri în spațiul limitat de sub camera de comandă, trebuie să se acorde o atenție deosebită marcării cablurilor și măsurilor de evitare a incendiilor.

În cazul în care numărul cablurilor electrice care intră în camera de comandă este mic, cum este cazul spațiilor electrice de transformare cu tensiuni pînă la 110 kV, nu se mai construiește un pod de cabluri, cablurile intrînd prin canale distribuitoare la punctele de racordare la panouri și pupitre.

Toate lucrările ce se execută în camera de comandă trebuie să respecte normele și instrucțiunile de protecție a muncii și de tehnică a securității.

Capitolul 19

# EXPLOATAREA STAȚIILOR ELECTRICE

## A. EXPLOATAREA INSTALAȚIILOR DIN CAMERA DE COMANDĂ

Exploatarea instalațiilor din camera de comandă este asigurată de către personalul de serviciu care lucrează în tură la camera de comandă.

Prin exploatarea instalațiilor de către personalul de serviciu se înțelege totalitatea măsurilor și operațiilor executate de aceștia pentru realizarea funcționării în bune condiții și la parametrii nominali a agregatelor și a tuturor instalațiilor electrice care contribuie la producerea, transportul și distribuția energiei electrice.

În general, personalul de exploatare din camera de comandă are ca obligații principale atît controlul permanent al aparatelor de măsurat și de semnalizare din camera de comandă cît și localizarea și înlăturarea incidentelor și avariilor, admiterea la lucru a echipelor de întreținere și revizii precum și executarea tuturor manevrelor operative.

Pe linie administrativă personalul de exploatare din camera de comandă este subordonat direct șefului secției electrice sau șefului stației electrice. Din punct de vedere operativ însă, el este subordonat direct inginerului de serviciu al centralei sau dispecerului teritorial al sistemului energetic de la care primește dispoziții pe care trebuie să le execute nemijlocit.

Pentru realizarea în bune condiții a sarcinilor de serviciu, personalul de exploatare din camera de comandă trebuie să cunoască:

— regulamentele de exploatare tehnică a centralelor și rețelelor electrice;

— instrucțiunile de serviciu privind munca tehnicianului de serviciu și a ajutorului său;

— normele de tehnica securității muncii în instalațiile electrice;

— regulile și măsurile pentru stingerea incendiilor;

— schemele de principiu ale stației, iluminatului electric și instalației de protecție prin relee;

— caracteristicile principale și amplasarea teritorială ale tuturor agregatelor, mașinilor și aparatajului din stație.

*Îndatoririle generale ale tehnicianului de serviciu* de la tabloul de comandă sînt următoarele:

— să verifice preluarea corectă a schimbului de către ajutorul său de la tabloul de comandă;

— să comunice imediat șefului schimbului toate neregulile constatate cu ocazia preluării schimbului. El trebuie să urmărească ca toate acestea să fie notate în jurnalul de serviciu al camerei de comandă ;

— să ia cunoștință de toate ordinele noi privind lucrul la tabloul de comandă ;

— să ia cunoștință de schema funcționării centralei sau stației și graficele de sarcină pentru schimbul său ;

— să controleze tot aparatajul tabloului și să ia cunoștință de indicațiile acestuia ;

— să afle cauza și data deconectării și reparațiilor utilajului electric principal.

*În timpul serviciului de tură* tehnicianul de serviciu de la tabloul de comandă execută și urmărește următoarele :

— efectuează toate deconectările și conectările conform dispozițiilor dispecerului sau inginerului de serviciu. El nu are voie să execute din proprie inițiativă nici un fel de manevre privind deconectările și conectările instalațiilor electrice ;

— execută reglarea tensiunii la barele de curent alternativ ;

— execută verificarea funcționării sistemului de semnalizare de comandă (telegraful de comandă) ;

— urmărește principalii parametri ai instalațiilor și agregatelor (temperaturi, tensiuni, sarcini etc.) ;

— comunică schimbarea sarcinii centralei în sala mașinilor și în sala cazanelor ;

— urmărește exactitatea notărilor în registrul tabloului de comandă.

## B. EXECUTAREA MANEVRELOR ÎN STAȚII ELECTRICE

Prin manevră se înțelege operația ce se execută în instalațiile electrice pentru schimbarea schemei în care funcționează acestea, precum și pentru scoaterea din funcțiune a unor echipamente în scopul de a fi reparate, revizuite, încercate sau trecute în rezervă.

Manevrele care pot avea loc într-o instalație electrică se pot clasifica în trei categorii :

— manevrele curente care se repetă zilnic (de exemplu, punerea sau scoaterea din funcțiune a unui transformator care trebuie să funcționeze numai la orele de vîrf) ;

— manevrele programate, care se efectuează în scopul realizării diferitelor lucrări de întreținere și reparații planificate la diverse echipamente și instalații ;

— manevrele de avarii, care se execută în cazurile de perturbări (incidente sau deranjamente) în scopul restabilirii regimului normal de funcționare sau în scopul menținerii alimentării cu energie electrică a unor consumatori importanți.

Manevrele curente sau programate care constau în general din închiderea sau deschiderea separatoarelor sau întreruptoarelor, scoaterea sau punerea siguranțelor fuzibile și a dispozitivelor de legare la pămînt se efectuează pe baza unor foi de manevră. Un exemplu de foaie de manevră este următorul :

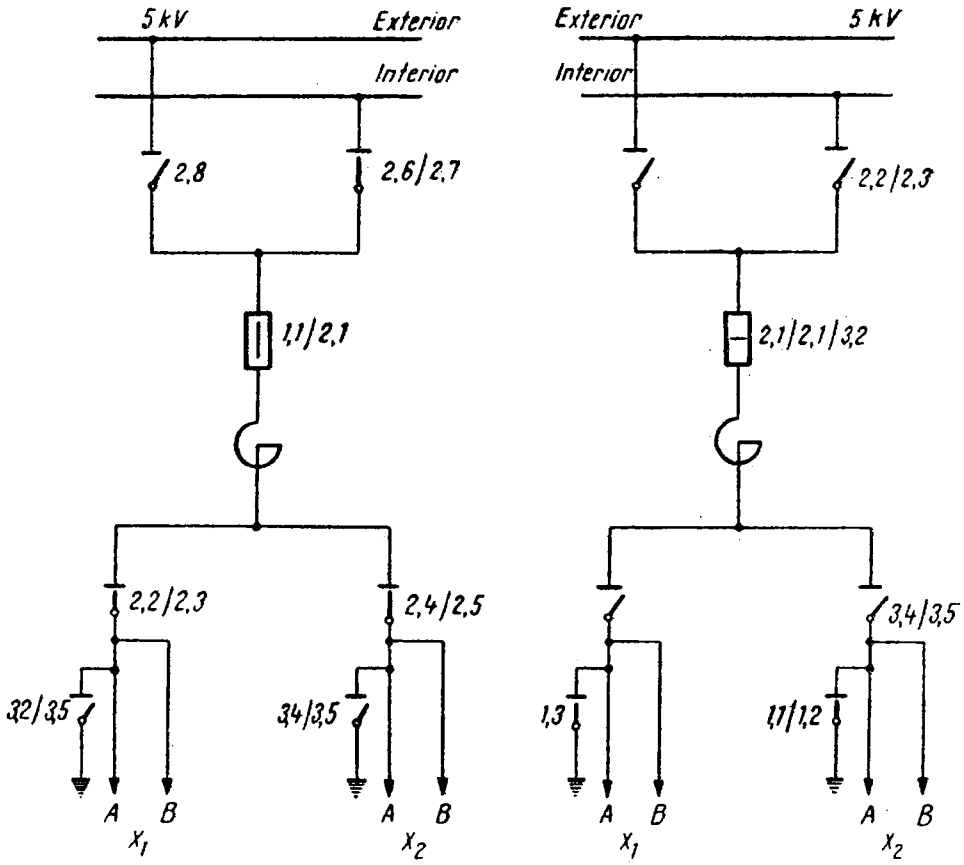
## Foaie de manevră

*Tema* : Aducerea în stare de legare la pămînt a celulei nr. 25 de 5 kV cablul $X_1 + X_2$ și revenirea în $X_2$ cablul $A$

*Scop* : Scoaterea din celulă a cablului $BX_1$

Starea operativă a instalației : conform schemei operative

| Nr. crt. | Succesiunea operațiilor |
|---|---|
| 1 | Dispecerul teritorial aprobă aducerea în stare deconectat a celulei 5 kV nr. 25 $X_1 + X_2$ prin : |
| 1.1 | — se deconectează întreruptorul celulei nr. $25X_1 + X_2$ |
| 2 | Dispecerul teritorial aprobă aducerea în stare separat vizibil a celulei 5 kV nr. 25 $X_1 + X_2$ prin : |
| 2.1 | — se verifică poziția deconectat a întreruptorului de sarcină din celula 5 kV nr. $25X_1 + X_2$ ; |
| 2.2 | — se deschide separatorul cablului $X_1$ ; |
| 2.3 | — se verifică poziția deschis a separatorului cablului $X_1$ ; |
| 2.3 | — se deschide separatorul cablului $X_2$ ; |
| 2.5 | — se verifică poziția deschis ; |
| 2.6 | — se deschide separatorul de bare interioare 5 kV, celula nr. $25X_1 + X_2$ ; |
| 2.7 | — se verifică poziția deschis ; |
| 2.8 | — se verifică poziția deschis a separatorului de bare exterioare, celula 5 kV nr. $25X_1 + X_2$. |
| 3 | Dispecerul teritorial aprobă aducerea în stare de legare la pămînt a celulei nr. 25 $X_1 + X_2$ prin : |
| 3.1 | — se verifică lipsa tensiunii pe cablu $X_1$ ; |
| 3.2 | — se închid cuțitele de legare la pămînt pe cablul $X_1$ spre linie ; |
| 3.3 | — se verifică lipsa tensiunii pe cablu $X_2$ ; |
| 3.4 | — se închid cuțitele de legare la pămînt pe cablul $X_2$ spre linie ; |
| 3.5 | — se verifică poziția închis ; |
| 3.6 | — se coboară în subsol cablurile (cablul $BX_1$). |
| | *Revenire* |
| 1 | Dispecerul teritorial aprobă revenirea la starea separat vizibil în celula 5 kV nr. 25 numai cu cablul $A$ prin : |
| 1.1 | — se deschid cuțitele de legare la pămînt pe cablul $AX_2$ ; |
| 1.2 | — se verifică poziția deschis ; |
| 1.3 | — se verifică poziția închis a cuțitelor de legare la pămînt pe cablul $X_1$. |
| 2 | Dispecerul teritorial aprobă aducerea în stare de conectat a celulei nr. 25 prin : |
| 2.1 | — se verifică pozlția deconectat a întreruptorului 5 kV din celula 5 kV $X_1 + X_2$ ; |
| 2.2 | — se închide separatorul de bare interior 5 kV a celulei 5 kV nr. $25X_1 + X_2$ ; |
| 2.3 | — se verifică poziția închis ; |
| 2.4 | — se închide separatorul de cablul $X_2$ ; |
| 2.5 | — se verifică poziția închis. |
| 3 | — Dispecerul teritorial aprobă aducerea în stare conectat a celulei 5 kV nr. 25 $X_1 + X_2$ prin : |
| 3.1 | — se conectează întreruptorul de sarcină din celula 5 kV nr. $25X_1 + X_2$ ; |
| 3.2 | — se verifică poziția conectat. |




În instalaţiile electrice de înaltă tensiune, manevrele se execută de către două persoane, dintre care una le execută direct iar a doua controlează executarea lor corectă. Cel care controlează trebuie să aibă o pregătire, funcţie şi o calificare superioară celui care execută manevrele.

În instalaţiile telecomandate şi în cazul în care în tură este o singură persoană, manevrele se execută de către această persoană.

Persoanele care dau ordine de executare a manevrelor trebuie să cunoască foarte bine în prealabil schema de conexiuni a instalaţiei precum şi starea operativă în care se află echipamentul. În tabelul 19.1 sînt cuprinse situaţiile şi stările operative în care se pot afla echipamentele.

La executarea corectă a manevrelor se consideră că toate echipamentele nepuse la pămînt sînt sub tensiune. Personalul însărcinat cu efectuarea manevrei trebuie să respecte următoarele instrucţiuni:

— să verifice dacă echipamentele ce urmează a fi conectate nu au scurtcircuitoare montate pe circuitele lor;

— să nu discute nimic în timpul executării manevrei şi să-şi concentreze atenţia asupra lucrului;

— să urmărească foaia de manevră care indică succesiunea operaţiilor;

— să verifice poziţia întreruptoarelor şi separatoarelor;

*Tabelul 19.1*

**Situațiile și stările operative ale echipamentelor**

| Situația în care se pot afla echipamentele | | Stările operative în care se pot afla echipamentele |
|---|---|---|
| În exploatare | Disponibile | în funcțiune<br>în rezervă caldă<br>în rezervă rece<br>în stare operativă nenominalizată |
| | Indisponibile | în stare caldă<br>în stare rece<br>în stare operativă nenominalizată |
| Retras din exploatare | | în stare deconectată<br>în stare separat vizibil<br>în stare legat la pămînt<br>în stare operativă nenominalizată |

— să efectueze conectarea și deconectarea circuitelor de protecție și punerea și scoaterea din funcțiune a instalațiilor de automatizare;

— să verifice existența sau lipsa tensiunii cu ajutorul indicatoarelor de tensiune, a voltmetrelor sau prin verificarea schemei de conexiuni;

— să verifice repartizarea sarcinilor pe circuite;

— dacă în timpul manevrei s-a produs un deranjament, să acționeze precis și calm, deoarece graba duce la agravarea situației.

O atenție deosebită trebuie acordată manevrelor cu separatoare, deoarece greșelile făcute la manevrarea acestora cauzează avarii grave. Separatoarele se manevrează, de regulă, fără sarcini, numai sub tensiune. În cele mai multe cazuri, separatoarele pot fi închise sau deschise cînd întreruptorul celulei respective este deschis. În cazurile în care circuitele ce trebuie să fie deconectate nu au întreruptoare, se admite să se execute următoarele manevre cu separatoare:

— conectarea și deconectarea transformatoarelor de tensiune;

— punerea și scoaterea de sub tensiune a barelor colectoare și a echipamentului aferent;

— conectarea și deconectarea liniilor electrice aeriene pînă la 35 kV și lungimea maximă de 10 km, precum și a cablurilor cu tensiune pînă la 10 kV și lungimea de 5 km, cu condiția ca în timpul efectuării manevrei să nu existe puneri la pămînt în rețeaua legată galvanic cu linia care urmează să fie deconectată;

— conectarea și deconectarea la mers în gol a transformatoarelor de putere, numai a celor cu următoarele caracteristici:

— de 10 kV și cel mult 750 kVA;

— de 10—20 kV și cel mult 3 000 kVA;

— de 20—35 kV și cel mult 7 500 kVA;

— de 110 kV și cel mult 10 000 kVA.

Separatoarele cu care se deconectează transformatoarele la mers în gol trebuie să fie trifazate și cu acționare mecanică.

Efectuarea manevrelor cu întreruptoare se face pe cît posibil de la distanță. În cazul în care manevrarea întreruptorului se face de la fața locului, se vor respecta toate indicațiile prevăzute în normele de tehnică a securității muncii.

În cele ce urmează se vor reda pe scurt principalele manevre executate la punerea și scoaterea din funcțiune a unor elemente primare importante.

**Generatoare electrice.** *Cuplarea generatoarelor la bare colectoare fără tensiune* se execută în următoarea ordine:

— se întocmește foaia de manevră și se aprobă de către organul competent;

— se verifică dacă toate plecările de pe bare sînt întrerupte;

— se închide separatorul de bare verificîndu-se în prealabil dacă întreruptorul este deschis;

— se excită generatorul pînă cînd ajunge la tensiunea nominală;

— se reglează turația pentru frecvența de 50 Hz;

— se închide întreruptorul generatorului;

— se anunță mecanicul din sala mașinilor că generatorul este legat la bare.

*Cuplarea generatoarelor la bare colectoare sub tensiune* se execută astfel:

— se aduce tensiunea și frecvența generatorului la tensiunea și frecvența barelor la care urmează să fie cuplat;

— se închid separatoarele de bare ale generatorului;

— se pune fișa de sincronizare și se închide întreruptorul generatorului în momentul în care acul sincronoscopului se îndreaptă încet spre zero și se află în imediata apropiere a punctului zero;

— se anunță mecanicul de la sala mașinilor că grupul este în paralel;

— după sincronizarea și cuplarea la bare se efectuează manevrele de încărcare a generatorului.

*Decuplarea generatoarelor de la barele colectoare* se face în ordine inversă.

**Liniile electrice.** *Punerea sub tensiune a liniilor electrice* din instalațiile de distribuție se execută în următoarea ordine:

— se întocmește foaia de manevră și se aprobă de către organul competent;

— se anunță abonații de punerea sub tensiune a liniei;

— se obține confirmarea că pe parcursul liniei, cît și în punctele de racord ale instalațiilor, legăturile la pămînt au fost ridicate, că nu se mai execută nici un fel de lucrări pe linie iar instalațiile abonaților sînt deconectate de la linie;

— se notează în registrul de exploatare că abonatul sau abonații racordați la aceasta linie au fost anunțați;

— se ridică toate legăturile la pămînt ale liniei și echipamentului său din stația de unde se pune sub tensiune;

— se controlează vizual dacă întreruptorul liniei este deschis;

— se închide separatorul de bare și se verifică dacă s-a închis;

— se închide separatorul de linie și se verifică dacă s-a închis;

— se închide întreruptorul liniei;

— se verifică existența tensiunii;

— în cazul în care pe linie s-au executat lucrări de reparații, se verifică la unul dintre abonați sensul corect de rotire a motoarelor;

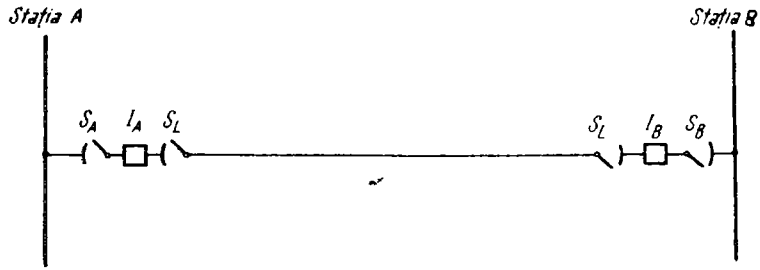



Fig. 19.1. Linie electrică de interconexiune.

— dacă sensul de rotire este corect, se comunică tuturor abonaților că se pot conecta la linie.

*Scoaterea din funcțiune a liniilor* se execută în următoarea ordine :

— se întocmește foaia de manevră ;

— se obține acordul abonaților pentru întreruperea liniei ;

— se notează în registrele de exploatare ;

— se deschide întreruptorul liniei ;

— se controlează vizual deschiderea acestuia ;

— se deschid separatoarele de bare și se verifică dacă s-au deschis ;

— se verifică cu indicatorul de tensiune lipsa tensiunii pe linie la separatorul liniei ;

— se pune linia la pământ prin separatorul de legare la pământ (dacă există) sau prin intermediul unui scurtcircuitor mobil de legare la pământ.

*Punerea în funcțiune a unei linii electrice de interconexiune dintre două stații A și B* (fig. 19.1) se execută după următoarele reguli :

— se întocmește foaia de manevră și se aprobă de către organul competent, numit pentru fiecare întreprindere în parte, prin instrucțiunile tehnice interne de manevre ;

— se primește comunicarea de la șeful lucrării (în cazul în care linia a fost în reparație) sau de la șeful echipei de exploatare (dacă linia a fost în verificare) că linia este bună, toate legăturile la pământ au fost ridicate, oamenii au fost îndepărtați și că linia poate fi pusă sub tensiune ;

— se fac notările corespunzătoare acestei situații în registrul de exploatare ;

— se ridică toate plăcuțele „Nu conectați, se lucrează pe linie" ;

— se ridică legătura la pământ din stația *A* (de exemplu) deschizîndu-se separatoarele de legare la pământ sau înlăturîndu-se scurtcircuitoarele de legare la pământ ;

— se procedează identic și în stația *B* ;

— se verifică concordanța fazelor în cazul în care s-au efectuat lucrări de reparație pe linie ;

— se obține acordul șefului de tură din stația *B* pentru punerea sub tensiune a liniei, cerîndu-i-se să ridice placa „Pus la pământ".

Înainte de începerea manevrei se stabilește în care dintre cele două stații există condiții de efectuare a controlului sincronismului. Dacă acesta se poate realiza, de exemplu, în stația *B*, în acest caz manevra începe în stația *A* și se continuă în stația *B*.

Ordinea de executare a manevrelor este următoarea:

— se închid separatoarele de bare și apoi de linie din stația *A*;

— se închide întreruptorul din stația *A*;

— se comunică la stația *B* că se pot începe manevrele de punere sub sarcină a liniei;

— se închid separatoarele de bare și apoi de linie din stația *B*;

— se verifică condițiile de sincronizare;

— se închide întreruptorul din stația *B*;

— se verifică existența sarcinii pe linie;

— se comunică organului fixat în foaia de manevră terminarea manevrelor;

— se fac notările necesare în registrul de exploatare.

*Scoaterea din funcțiune a unei linii electrice de interconexiune între două stații A și B* se execută cu efectuarea operațiilor în funcție de scopul scoaterii din funcțiune a liniei.

Astfel, în cazul în care linia se scoate din funcțiune pentru executarea unor lucrări pe linie, pentru care în ambele stații este necesară, în final, legarea acesteia la pământ, dacă separatoarele de linie din ambele stații sînt prevăzute cu cuțite de legare la pământ (tip STEP sau STIP), atunci ordinea de efectuare a operațiilor va fi următoarea:

— se întocmește și se aprobă foaia de manevră;

— se asigură din punctul de vedere al circulației puterilor în rețea că linia poate fi scoasă din funcțiune;

— se deschide întreruptorul liniei de la una dintre stații (de exemplu din stația *A*);

— se verifică dacă întreruptorul s-a deschis;

— se deschide separatorul de bare din stația *A*;

— se verifică dacă separatorul s-a deschis;

— se deschide întreruptorul de linie din stația *B*;

— se verifică dacă întreruptorul s-a deschis;

— se deschid separatoarele de bare și apoi de linie din stația *B* și se verifică dacă s-au deschis;

— se verifică în stația *A* lipsa tensiunii pe linia deconectată;

— se deschide separatorul de linie din stația *A*, verificîndu-se legarea la pământ în stație prin cuțitele de legare la pământ;

— se procedează la fel în stația *B*;

— se comunică organului în drept terminarea manevrelor.

**Transformatoare.** Înainte de punerea sub tensiune a unui transformator se execută verificările prevăzute în norme.

*Punerea în funcțiune a transformatoarelor de putere care alimentează bare de distribuție sau o rețea de utilizare ce nu are nici o legătură cu vreo sursă de alimentare* se execută pe baza unei foi de manevră aprobate, în următoarea ordine:

— se controlează toate conexiunile ;
— se verifică partea tensiunii primare ;
— se închid separatoarele de pe partea tensiunii primare și se verifică dacă s-au închis ;
— se verifică poziția deschis a întreruptorului de pe partea tensiunii secundare ;
— se închid separatoarele de bare de pe partea tensiunii secundare și se verifică dacă s-au închis ;
— se închide întreruptorul de pe partea tensiunii primare ;
— se închide întreruptorul de pe partea tensiunii secundare ;
— se verifică valoarea tensiunilor pe partea secundară a transformatorului în gol.

*Scoaterea din funcțiune și de sub tensiune a transformatoarelor de putere care sînt în paralel cu alte transformatoare* se face în următoarea ordine :
— se deschide întreruptorul pe partea tensiunii secundare ;
— se deschide întreruptorul pe partea tensiunii primare ;
— se verifică dacă cele două întreruptoare s-au deschis ;
— se deschid separatoarele de bare pe partea tensiunii primare și se verifică dacă s-au deschis ;
— se deschid separatoarele pe partea tensiunii secundare și se verifică dacă s-au deschis ;

*Scoaterea din paralel a transformatoarelor* se face respectîndu-se următoarele :
— se verifică dacă prin scoaterea din paralel a transformatorului nu se depășește sarcina admisibilă a celorlalte transformatoare rămase în paralel ;
— se deschide întreruptorul transformatorului pe partea tensiunii secundare ;
— se verifică dacă sarcina rămasă pe transformatoarele în funcțiune nu depășește pe cea admisibilă ;
— în cazul în care nu se depășește sarcina admisibilă se deschide întreruptorul pe partea tensiunii primare după care se procedează ca în cazul scoaterii din funcțiune a unui transformator care nu lucrează în paralel.

**Trecerea elementelor racordate la barele colectoare de pe un sistem de bare pe altul.** Pentru *trecerea totală a elementelor de pe un sistem de bare pe altul care nu se află sub tensiune* trebuie executate următoarele operații :
— se face o examinare exterioară a sistemelor de bare aflate în rezervă, controlîndu-se dacă separatoarele cuplei transversale sînt închise și dacă nu sînt puneri la pămînt sau scurtcircuite pe bare ;
— se reglează protecția întreruptorului cuplei la temporizare și curent minim (temporizare maximă 0,5 s) ;
— se închide întreruptorul cuplei transversale ;
— se verifică dacă întreruptorul s-a închis ;
— se verifică prezența tensiunii pe barele de rezervă ;
— se reglează protecția cuplei transversale la valoarea prevăzută de protecție ;
— se închid pe sistemul de bare toate separatoarele plecărilor ce se găsesc în funcțiune ;
— se deschid separatoarele de bare ale acelorași plecări de pe sistemul de bare care trece în rezervă ;

— se verifică dacă poziția tuturor separatoarelor este corectă ;

— se deschide întreruptorul cuplei transversale ;

— se verifică dacă întreruptorul s-a deschis și lipsa tensiunii pe barele colectoare.

Pentru *trecerea unei serii de plecări de pe un sistem de bare pe un altul care se găsește sub tensiune*, ordinea operațiilor este următoarea :

— se face sincronizarea celor două sisteme de bare și se închide întreruptorul cuplei transversale după ce în prealabil s-a efectuat blocarea protecției ;

— se închid separatoarele de bare ale plecărilor pe acel sistem pe care se face trecerea ;

— se deschid separatoarele de bare de pe sistemul de bare pe care au funcționat plecările respective ;

— se deschide întreruptorul cuplei transversale, verificîndu-se apoi dacă s-a deschis.

La *înlocuirea întreruptorului unei plecări oarecare au întreruptorul cuplei transversale* se execută următoarele operații :

— se verifică dacă pe sistemul de bare de rezervă nu sînt puneri la pămînt sau scurtcircuite ;

— se verifică poziția separatoarelor întreruptorului cuplei transversale care trebuie să fie închise ;

— se reglează protecția pe întreruptorul cuplei transversale la valoarea curentului și temporizarea minimă corespunzătoare protecției plecării respective ;

— se închide întreruptorul cuplei transversale ;

— se verifică existența tensiunii pe sistemul de bare liber ;

— se șuntează întreruptorul liniei ;

— se închid separatoarele de bare ale liniei pe sistemul de bare liber.

Manevra se execută conform schemei din figura 19.2.

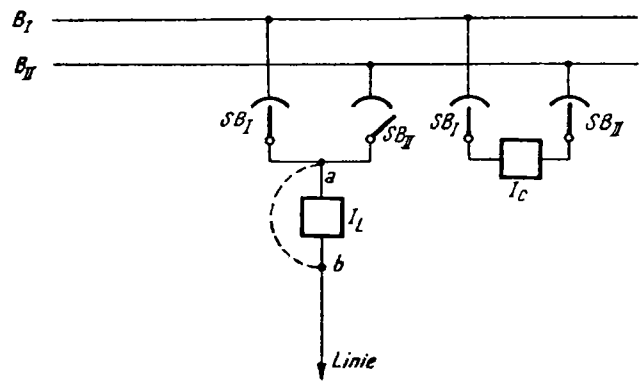



Fig. 19.2. Sistem de alimentare cu două bare colectoare :
$B_I$ — sistem de bare colectoare în funcțiune ; $B_{II}$ — sistem de bare colectoare în rezervă ; $SB_I$ — separatoare de bare pe sistemul I ; $SB_{II}$ — separatoare de bare pe sistemul II ; $I_L$ — întreruptorul liniei electrice ; $I_C$ — întreruptorul cuplei transversale ; legătura punctată între *a* și *b* reprezintă șuntarea întreruptorului defect al liniei.

## C. AVARIILE CARE POT APĂREA ÎN STAȚII ȘI MANEVRELE PENTRU LICHIDAREA LOR

### 1. Generalități

În exploatare pot apărea incidente, deranjamente și avarii.

*Incidentul* (noțiune utilizată în instalațiile electrice cu tensiuni mai mari decît 1 kV) și *deranjamentul* (noțiune utilizată în instalațiile electrice cu tensiuni sub 1 kV) sînt perturbații care au drept consecință modificarea nedorită a schemei de funcționare. Se exceptează cazurile în care instalațiile de reanclanșare automată rapidă *(RAR)* sau de anclanșare automată a rezervei *(AAR)* funcționează corect.

*Avaria* este incidentul de amploare sau o succesiune de incidente care au loc la un moment dat într-un obiectiv, într-o zonă din sistem sau în sistemul energetic luat în ansamblu și care are drept consecință deteriorări de echipamente importante sau întreruperi în alimentarea unor platforme industriale sau zone de consum.

Trebuie subliniat faptul că la apariția avariilor și în timpul lichidării acestor avarii, solicitarea personalului de exploatare crește brusc în comparație cu perioada normală de muncă. În aceste cazuri se cere o precizie și o atenție deosebită, prezență de spirit și rapiditate în acțiune.

Pe baza unor reglementări existente, cauzele avariilor se clasifică în felul următor:

— din vina directă a personalului;

— din vina furnizorilor și a întreprinderilor de montaj;

— din cauza forțelor naturii;

— din alte cauze.

**Avarii din vina personalului.** Datorită insuficienței pregătirii profesionale, a neatenției, a indisciplinei în muncă, a nerespectării normelor tehnice de protecție a muncii se pot produce anumite avarii și anume:

— avarii cauzate de executarea unor manevre greșite ca: deschiderea unui separator sub sarcină, punerea sub tensiune a unei instalații de la care nu s-au scos toate scurtcircuitele mobile sau la care nu s-au deschis separatoarele de legare la pămînt, deconectarea eronată a unor elemente ale instalației;

— avarii cauzate de executarea unor manevre incorecte, cum ar fi de exemplu neutilizarea cuplei transversale la trecerea unor celule de pe un sistem de bare pe altul;

— avarii datorate unor conexiuni greșite, cum ar fi legarea greșită în paralel a două transformatoare, legarea incorectă a fazelor la două linii sau cabluri care funcționează în paralel sau transformatoare de curent lăsate cu secundarul deschis;

— avarii cauzate de neluarea unor măsuri de ermetizare a instalațiilor în scopul împiedicării pătrunderii în instalațiile electrice în funcțiune a păsărilor sau a animalelor care provoacă scurtcircuite;

— avarii datorate neefectuării la termen a verificărilor și încercărilor profilactice ale instalațiilor. O mare importanță în evitarea avariilor o are

verificarea funcționării corecte a protecțiilor prin relee, a dispozitivelor de automatizare și a aparatelor de comutație.

**Avarii din vina furnizorilor și a întreprinderii de montaj.** În această categorie intră avariile provocate de calitatea necorespunzătoare a aparatelor și materialelor.

Cele mai frecvente avarii sînt provocate de:

— întreruptoarele cu o putere de rupere sub cea nominală, din care motiv au loc explozii ale acestora, sudarea contactelor, blocarea contactelor etc.;

— separatoarele de tip exterior cu insuficientă rezistență mecanică, a căror izolatoare se rup în timpul manevrelor;

— transformatoarele de tensiune cu circuit magnetic subdimensionat, fapt care produce încălziri exagerate, explozii și incendii;

— dispozitivele de acționare nesigure în funcționare;

— executarea incorectă a unor manșoane și cutii terminale la cabluri;

— utilizarea unor tehnologii imperfecte la îmbinările conductoarelor de aluminiu între ele și a acestora cu conductoarele de cupru;

— utilizarea unor tehnologii imperfecte la îmbinările conductoarelor de aluminiu între ele și a acestora cu conductoare de cupru.

**Avarii cauzate de forțele naturii.** Din această categorie fac parte avariile provocate de descărcările atmosferice, vînt, chiciură, viscol etc.

**Avarii provocate de alte cauze.** Lovirea cablurilor electrice subterane cu ocazia săpăturilor, depunerile care contaminează izolația liniilor aeriene sau a instalațiilor de distribuție de tip exterior, precum și menținerea în exploatare a unor instalații foarte vechi cu caracteristici depășite sînt cauze ale unor avarii mai mult sau mai puțin grave.

## 2. Particularitățile efectuării manevrelor în regim de avarii

În cazurile urgente care nu permit amînare, cum ar fi incendiile, accidentele de persoane, catastrofele naturale, precum și lichidarea în cazul avariilor lipsei legăturilor de telecomunicații, manevrele se execută fără informarea personalului superior de tură și fără foi de manevră, cu obligativitatea înștiințării lui ulterioare.

Astfel de manevre se execută în conformitate cu instrucțiunile de lichidare a avariilor specifice cazului respectiv.

În cazul avariilor care au ca urmare dispariția tensiunii în stații, personalul de tură trebuie să fie gata să primească tensiunea în orice moment, chiar fără a fi prevenit.

Executarea lucrărilor de reparații în caz de avarii se execută cu respectarea strictă a normelor de tehnică a securității muncii ca și la lucrările obișnuite, cu unele precizări cum ar fi:

— lucrarea de reparație poate fi executată în mod excepțional de către personalul de tură, fără dispoziție de lucru, după ce s-a obținut aprobarea forului ierarhic și după ce s-au înregistrat lucrările în registrul de manevră; la lucrare trebuie să ia parte cel puțin două persoane.

La unele lucrări, necesare pentru lichidarea avariilor și pentru care se cer în mod normal dispoziții de lucru, se permite emiterea dispozițiilor de lucru pe numele echipelor care fac lucrări în timpul lichidării avariilor de către personalul de tură al centralelor și stațiilor (aceasta numai în lipsa persoanelor care au dreptul să emită dispoziții de lucru).

## D. EXPLOATAREA INSTALAȚIILOR PRIMARE DE COMUTAȚIE DIN STAȚIE

### 1. Exploatarea și întreținerea întreruptoarelor

Importanța deosebită și diversitatea tipurilor de întreruptoare care se găsesc în instalații reclamă o atenție deosebită exploatării acestora.

Defectarea, precum și depășirea în exploatare a parametrilor nominali ai întreruptoarelor pot duce la urmări grave soldate de multe ori cu distrugeri importante de instalații și întreruperi de lungă durată în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor.

Ținîndu-se seamă că întreruptoarele funcționează în diferite medii (în exterior, în încăperi, în medii viciate, în mediu cu depuneri de praf etc.) este necesar să se efectueze, conform instrucțiunilor de exploatare, *controale și micile reparații*, precum și *verificări neprogramate* după un anumit număr de întreruperi.

La efectuarea controalelor se urmărește ca *poziția întreruptorului și a dispozitivului de acționare* să fie cea corespunzătoare cu poziția indicatorului închis-deschis.

Se urmărește *încărcarea* care trebuie să fie cea admisibilă.

La întreruptoarele cu ulei se controlează *nivelul uleiului* în cuve și în izolatoare. Se verifică dacă uleiul nu curge pe la robinete și garnituri. Se verifică existența capacului care închide orificiul supapei de siguranță și dacă la acest orificiu nu a fost suflată membrana sau uleiul. Se verifică *starea conductei de evacuare a gazelor* și dacă nu există urme de ulei aruncat afară. Se controlează *starea bornelor* întreruptoarelor, *legăturilor de contact* și dacă nu se încălzesc.

Izolatoarele trebuie să fie mereu curate, să nu prezinte spărturi și crăpături în porțelan, zgîrieturi și transpirație a izolatoarelor de bachelită, urme de descărcări și efect corona.

Se controlează *starea tiranților dispozitivelor de acționare.*

Se verifică *integritatea circuitului bobinei de declanșare* și *a conductorului de legare la pămînt.*

La întreruptoarele cu aer comprimat se controlează *poziția corectă a cuțitelor separatorului* în contacte sau în poziția de declanșare. Se verifică *valoarea presiunii aerului* cu manometrul și *funcționarea supapei de ventilație* cu ajutorul dispozitivului de măsurare a debitului de aer, al cărui plutitor trebuie să se mențină deasupra mijlocului sticlei.

Prin ascultare atentă se controlează *eventualele scurgeri de aer.* Se golește apa acumulată în *recipientele de decantare.* Se verifică *funcționarea dispozitivului de încălzire.* Se verifică *lipsa scurgerilor de ulei din amortizoarele cu ulei.*

Cele constatate în timpul controalelor se consemnează în registrele de tură și se comunică personalului de conducere care va lua măsurile corespunzătoare pentru remedierea defectelor în cel mai scurt timp.

Controlul întreruptoarelor se efectuează o dată pe lună ziua la stațiile cu personal permanent și o dată pe săptămînă noaptea pentru a se stabili existența descărcărilor corona, contacte slabe etc. La stațiile unde nu există personal permanent de exploatare, controlul se face de către personal specializat pe secție la intervale dependente de importanța instalației.

În stațiile de conexiuni și transformare cu tranformatoare de puteri peste 2 400 kVA controlul se efectuează cel puțin la 10 zile. În stațiile cu puteri între 560 și 2 400 kVA controlul se face cel puțin de două ori pe lună, iar restul instalațiilor cel puțin o dată pe lună.

## 2. Exploatarea și întreținerea separatoarelor

În exploatare se va urmări ca tensiunea și curenții să nu depășească anumite valori indicate de norme.

Piesele supuse frecărilor se vor unge periodic o dată la șase luni. La un an se vor efectua lucrările de verificare și întreținere cu scoaterea de sub tensiune a instalațiilor.

În general, se cercetează *izolatoarele separatoarelor* pentru a se descoperi eventualele defecte (crăpături și spărturi în porțelan), stricarea armăturii, urme de conturnări sau descărcări. Verificarea se face cu atenție folosindu-se în acest scop mijloace perfecționate, cum ar fi lupele etc. Izolatoarele defecte se înlocuiesc. Se verifică *starea contactelor* și *strîngerea șuruburilor*. Se verifică *reglarea contactelor* și *simultaneitatea închiderii* acestora la separatoarele tripolare.

*Părțile mobile* se verifică dacă funcționează ușor împreună cu dispozitivul de acționare. Se verifică *contactele de semnalizare*, care se curăță și se ung cu un strat subțire de vaselină.

Se verifică funcționarea corectă a *sistemului de semnalizare a poziției separatoarelor*, a *sistemului de blocare mecanică*, a *cuțitelor de legare la pămînt* și a *sistemului de blocare împotriva operațiilor de deschidere greșite*.

## 3. Exploatarea și întreținerea barelor colectoare

În timpul exploatării starea izolației se înrăutățește datorită depunerilor de murdărie, ca urmare a contaminării atmosferei în anumite zone industriale. De aceea, barele colectoare se verifică periodic urmărindu-se *starea barelor colectoare*, dacă nu sînt *încălziri locale din cauza contactelor* slabe care produc schimbarea culorii barei sau alte defecte vizibile.

O atenție deosebită se va acorda și barelor colectoare aflate în rezervă. Acestea vor fi păstrate în perfectă stare de funcționare și se vor verifica și încerca în permanență după programe stabilite prin norme de exploatare, pentru a fi capabile a fi conectate în orice moment.

În timpul exploatării *izolația* instalațiilor electrice *trebuie supusă unor tratamente* adecvate pentru a nu fi străpunsă sau conturnată.

**Metodele de combatere a contaminării** cele mai eficiente, pe lîngă utilizarea unor izolatoare de construcție specială, sînt următoarele :

— curățirea periodică a izolației prin spălare sau ștergere ;

— protejarea suprafețelor izolante cu unsori de protecție minerale sau siliconice.

*Curățirea izolației prin spălare sau ștergere* este o metodă utilizată pe scară largă în instalațiile electrice interioare sau exterioare. Perioadele la care se execută curățirea izolației se stabilesc pentru fiecare instalație în parte și depinde de tipul de construcții și de depunerile în zona respectivă.

La *instalațiile interioare* este necesară curățirea periodică a izolației barelor colectoare, grilajelor, rafturilor etc. Pentru curățire se folosesc fie cîrpe uscate sau înmuiate în alcool, fie aspiratoare cu țevile din material izolant. Curățirea se poate face cu instalațiile scoase de sub tensiune sau sub tensiune. În cazul ștergerii prafului cu instalațiile sub tensiune se vor lua toate măsurile de tehnică a securității muncii pentru a se evita electrocutarea pesonalului.

La *instalațiile exterioare* lucrările de curățire a izolației sînt mult mai greoaie și necesită un volum mare de muncă cu durate lungi de întrerupere.

Spălarea se poate face cu instalațiile sub tensiune, prin jeturi de apă produse de instalații mobile. Jetul de apă se îndreaptă cu furtunul spre izolator de la o distanță de cel puțin 10 m. În acest caz apa trebuie să aibă o rezistență electrică de cel puțin 2 000 $\Omega/cm^3$. Cel care face spălarea va fi îmbrăcat într-un costum impermeabil cu cizme și mănuși de cauciuc.

În timpul spălării izolației trebuie luate măsuri speciale de tehnică a securității muncii. Astfel capătul furtunului se leagă galvanic cu o foaie metalică pe care stă muncitorul care spală și care se leagă la centura de pămînt a stației. Spălarea începe cu partea de jos a lanțului de izolatoare sau a coloanei izolante, iar pe măsura curățirii jetul se ridică în sus.

Indiciul curățirii izolației este modificarea nuanței efectului corona care apare în apropierea izolatorului ud. La început acesta are o culoare roșiatică aprinsă care pe măsura curățirii devine violetă. În cazul spălării de sus în jos pe partea inferioară cade apa cu murdăria conducînd la conturnări ale instalației.

Această metodă de spălare cu furtunul a izolației cu instalația sub tensiune are o serie de inconveniente și nu se aplică decît în cazuri extreme. Metoda spălării cu apă a instalației sub tensiune s-a perfecționat însă prin montarea unor instalații de spălare fixe (fig. 19.3).

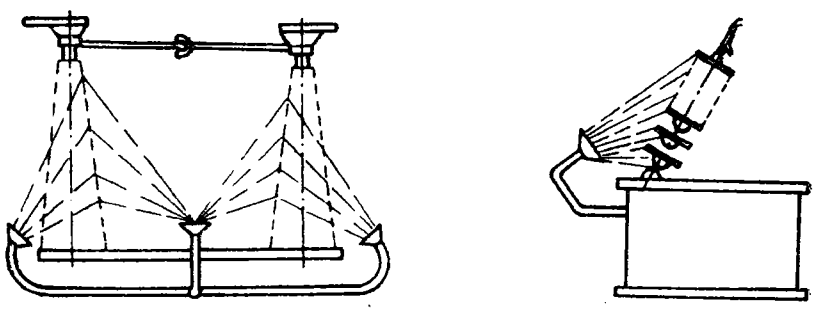


Fig. 19.3. Instalație fixă de spălare a izolatoarelor.

*Protejarea suprafețelor izolante cu unsori de protecție* este o metodă mult mai ușoară.

Pentru protejarea izolației se folosesc unsori siliconice.

Aplicarea unsorii pe suprafața izolatoarelor este o operație deosebită și trebuie făcută cu mare atenție. Grosimea stratului aplicat va fi de 2 mm și se va căuta ca aplicarea unsorilor să se facă în zile cu umiditate atmosferică redusă, lipsite de vînt și cu temperatura cea mai ridicată.

## 4. Exploatarea serviciilor interne

Instalațiile de servicii interne trebuie menținute într-o perfectă stare de funcționare atît în ansamblu, cît și pe fiecare element în parte.

Ca și restul instalațiilor din centrale și stații, instalațiile de servicii interne trebuie să fie controlate, întreținute și verificate în vederea păstrării lor în stare de funcționare.

Controlul instalațiilor serviciilor interne se face la centralele și stațiile cu personal permanent de două ori pe schimb, controlîndu-se:

— aparatajul de comutație, reglare și pornire, verificîndu-se dacă funcționează normal, dacă nu prezintă încălziri peste limitele admisibile, dacă nu apar scîntei la inelele colectoare sau arcuri electrice în alte puncte ale instalației. Se citesc aparatele de măsurat și se verifică încărcarea anumitor elemente, iar dacă sînt supraîncărcate se iau măsuri de descărcare;

— motoarele electrice, dacă nu vibrează, dacă nu se aud zgomote anormale și dacă nu se încălzesc peste limitele admisibile; se măsoară temperatura cuvelor întreruptoarelor, nivelul de ulei în conservatorul transformatoarelor și se verifică dacă nu sînt pierderi de ulei;

— se verifică temperatura fuzibilelor, aspectul general al celulelor de la posturile de transformare pentru serviciile interne;

— tablourile de distribuție de joasă tensiune dacă nu prezintă încălziri la contacte;

— traseele cablurilor, dacă canalele sînt acoperite, cablurile nu sînt lovite, cutiile terminale nu au scurgeri și nu se încălzesc;

— starea legăturilor de legare la pămînt sau nul a motoarelor.

Defectele constatate se vor consemna în registrul operativ pentru a se urmări remedierea lor.

Lucrările la serviciile interne se pot executa pe baza dispozițiilor de lucru cu îndeplinirea măsurilor de admitere la lucru.

Întreținerea instalațiilor de servicii interne se face de către echipe specializate la termenele stabilite prin instrucțiuni interne.

Odată cu scoaterea în reparație a agregatelor de bază (cazane și turbine) se vor executa și lucrările de întreținere și reparații a instalațiilor anexe aferente.

O atenție deosebită se dă și verificării și supravegherii instalației de iluminat care constă în menținerea stării bune a conductoarelor instalației de iluminat a tablourilor, a prizelor, a întreruptoarelor, a lămpilor și a corpurilor de iluminat.

## 5. Exploatarea bateriilor de acumulatoare

Bateriile de acumulatoare trebuie să fie exploatate şi întreţinute cu cea mai mare atenţie. În cazul unei exploatări şi funcţionări necorespunzătoare bateriile de acumulatoare se sulfatează anormal şi se degradează.

Sulfatarea bateriei se datoreşte în principal anumitor cauze:

— ţinerea bateriei neîncărcate timp îndelungat;

— descărcări sistematice mari;

— încărcări incomplete;

— încărcări dese cu un curent prea mare.

De aceea, în exploatare se recomandă ca *funcţionarea bateriilor de acumulatoare să se facă în regim de încărcare continuă* şi nu în regim de încărcare-descărcare. Regimul de încărcare continuă are marele avantaj că înlătură sulfatarea anormală, deoarece bateria se găseşte tot timpul în stare încărcată şi se încarcă cu un curent mic. Pe de altă parte, bateria găsindu-se mereu încărcată poate fi folosită la capacitatea nominală în orice regim de avarie în centrală sau staţie. Astfel, se exclude posibilitatea de a se găsi bateria descărcată în situaţia unei avarii.

Pentru ca acest regim să fie folosit corespunzător trebuie respectate anumite reguli în regim normal şi la descărcări şi încărcări periodice. În regim normal bateria trebuie să aibă la fiecare element conectat o tensiune de 2,15 V, iar variaţiile tensiunii sînt admisibile în limitele $\pm 2\%$.

O măsură menită să contribuie la buna funcţionare a bateriei de acumulatoare este *descărcarea la antrenament* care contribuie la menţinerea capacităţii în limite normale. Descărcarea bateriei se face pînă la 50% din capacitatea ei.

*Reîncărcarea de reglaj* serveşte pentru a se completa înlăturarea din masa activă a particulelor de sulfat de plumb. Reîncărcarea se face în felul următor: bateria se deconectează şi se lasă în stare de repaus 1—2 h, după care se pune iar la încărcat timp de 1 h cu un curent de 0,5—0,75 din curentul normal de încărcare. Această operaţie se repetă de 2—3 ori pînă cînd, imediat după conectarea pentru încărcare, se va produce o emanare puternică de gaze la amîndoi electrozii.

După descărcarea de avarie, încărcarea trebuie să se facă cu un curent care să nu depăşească valoarea maximă indicată de întreprinderea constructoare. Curentul de încărcare este menţinut pînă cînd tensiunea atinge 2,6—2,7 V pe element, ceea ce corespunde fenomenului vizibil de formare a gazelor. După aceea curentul se reduce la jumătate, încărcarea continuă pînă cînd tensiunea atinge din nou 2,6—2,7 V, după care valoarea curentului se reduce din nou la jumătate şi se menţine la această valoare pînă cînd densitatea acidului va rămîne constantă timp de 1h .

*La descărcare* trebuie să se respecte următoarele *reguli:*

— descărcarea să nu se facă cu un curent mai mic decît cel prevăzut pe fişa bateriei;

— să nu se admită o tensiune de descărcare mai mică de 1,8 V pe element;

— să nu se solicite bateria la descărcare cu o capacitate mai mare decît cea garantată.

Bateriile de acumulatoare care funcționează pe baza metodei de încărcare permanentă trebuie descărcate și apoi încărcate o dată pe lună.

În timpul exploatării bateriile de acumulatoare vor fi controlate zilnic. În timpul controlului *se vor verifica starea bateriei* în general, *integritatea bacului, nivelul electrolitului, starea plăcilor, nivelul depunerilor, starea legăturilor la borne, densitatea, temperatura electrolitului* și *tensiunea pe element.* Se va verifica *starea instalației de ventilație, a instalației de încălzire.* Nivelul electrolitului în elemente trebuie să fie cu 1—2 cm deasupra marginii superioare a plăcilor. Elementele trebuie umplute înainte de încărcarea bateriei. Este interzisă umplerea cu electrolit în timpul încărcării bateriei, cum și turnarea de acid concentrat în elemente; se adaugă numai apă distilată. Grupurile de încărcare a bateriei de acumulatoare trebuie supravegheate prin controale la aceleași perioade ca și restul instalațiilor.

Repararea bateriilor de acumulatoare se execută periodic de către personal calificat. Se înlătură defectele constatate în timpul exploatării.

## 6. Întreținerea instalațiilor de aer comprimat

Aerul comprimat este folosit în mod curent la acționarea separatoarelor și întreruptoarelor și la stingerea arcului electric la întreruptoarele cu aer comprimat.

O condiție importantă pe care trebuie s-o îndeplinească aerul comprimat este de a fi uscat pentru a nu se produce condensarea vaporilor în conductele de distribuție, cît și în piesele de rupere a arcului electric.

Instalațiile de aer comprimat trebuie controlate, revizuite și întreținute în cele mai bune condiții.

Personalul de exploatare trebuie să controleze zilnic *funcționarea compresoarelor* și *funcționarea instalațiilor de automatizare.* Se vor controla supapele de siguranță, iar lunar se verifică dacă compresoarele își mențin parametrii de funcționare. Se vor urmări indicațiile parametrilor și se va menține presiunea în limitele normale de funcționare.

Zilnic se vor purja recipientele compresoarelor și ale convectoarelor de condensat.

La două zile se purjează recipientele montate în stațiile de distribuție.

Se verifică zilnic etanșeitatea și buna lor funcționare a oalelor de condensat. Cele defecte se repară sau se înlocuiesc.

În timpul iernii se va asigura o încălzire la o temperatură convenabilă.

Se va acorda o atenție deosebită controlului recipientelor, care vor fi scoase imediat din funcțiune cînd se constată deformări la pereți, crăpături sau fisuri, scurgeri la locurile de prindere sau alte defecte la armăturile de control și siguranță.

Revizia instalațiilor de aer comprimat se va face parțial sau în ansamblu după apariția unor defecte.

În fiecare an recipientele se vor scoate din funcțiune, se vor curăța și spăla și se vor vopsi cu miniu de plumb. Se va controla cu această ocazie starea recipientului și se va executa încercarea la presiune la rece.

Controlul oficial periodic se face de către o inspecție de tehnologie care va da permisiunea de funcționare.

Anual, compresoarele se vor revizui, executîndu-se lucrările necesare pentru remedierea defectelor constatate în exploatare.

## E. NORME DE TEHNICĂ A SECURITĂȚII MUNCII ÎN EXPLOATAREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE DIN CENTRALE ȘI STAȚII

Persoanele care au atribuții în activitatea de exploatare sau întreținere a instalațiilor electrice trebuie să îndeplinească următoarele condiții :

— să fie sănătoase din punct de vedere fizic și psihic și să nu aibă infirmități care să conducă la accidentarea lor sau a altor persoane ;

— să posede calificarea corespunzătoare lucrărilor pe care trebuie să le execute ;

— să fie instruiți și verificați din punctul de vedere al normelor de protecție a muncii. Personalului de deservire operativ a instalațiilor îi este cu desăvîrșire interzis să scoată din proprie inițiativă îngrădirile, să pătrundă dincolo de acestea, să execute lucrări sau manevre fără a exista o autorizație de lucru, instrucțiune tehnică internă sau dispoziție în acest sens.

În timpul serviciului de tură, personalul operativ de tură poate permite accesul în instalațiile supravegheate următoarelor categorii de personal :

— personalului de deservire operativă a instalației în cauză, dar numai la efectuarea schimbului ;

— personalului de revizie sau reparație pentru executarea de lucrări pe baza unei autorizații de lucru, instrucțiuni tehnice etc. ;

— personalului tehnic superior care are drept de control asupra instalației respective, dar cu respectarea precizărilor privind controlul instalațiilor ;

— altor categorii de personal (din interiorul sau exteriorul unității), dar numai însoțită de șeful ierarhic al personalului operativ sau un superior al acestuia pe linie administrativă.

La *executarea lucrărilor din instalații* trebuie luate următoarele *măsuri* :

— la celule debroșabile, la scoaterea completă a căruciorului din celulă ușile celulei prefabricate se închid și montează indicatorul de interzicere : „Nu închide ! se lucrează !". La fel se procedează cu întreruptorul separatoarelor și butoanelor și cheile de comandă a elementelor care se află în revizie sau se lucrează pe ele ;

— la lucrările executate pe scări în apropierea tensiunii, acestea trebuie să fie astfel așezate, încît chiar prin alunecare să nu poată să se apropie la o distanță periculoasă de instalațiile aflate sub tensiune ;

— înaintea efectuării lucrărilor în instalațiile electrice trebuie verificată lipsa tensiunii cu mijloace adecvate (indicatoare de tensiune electroizolante, lămpi de control, aparate de măsurat etc.) ;

— în zona unde se execută lucrări se montează scurtcircuitoare de legare la pămînt ;

— după executarea lucrărilor, pentru repunerea instalației în funcțiune, se demontează toate scurtcircuitoarele și se verifică lipsa acestora;

— curățirea, rectificările și reparațiile compresorului în mișcare sînt interzise.

La *izbucnirea unui incendiu* în instalațiile electrice aflate în incinta interioară sau exterioară, personalul operativ de deservire este obligat să combată focul, cu respectarea instrucțiunilor locale pentru lichidarea incendiilor.

Pentru prevenirea producerii unor accidente în timpul stingerii incendiilor se vor respecta următoarele reguli :

— în cazul în care este posibil se va întrerupe tensiunea la instalația în cauză ;

— se va ataca focul cu stingătorul dinspre direcția vîntului, orientîndu-se jetul către baza flăcării și apropiindu-se progresiv de foc ;

— stingătoarele cu materiale toxice periculoase se vor folosi în aer liber. În interior se pot folosi numai cu masca de gaze pe figură.

În general personalul va fi instruit ori de cîte ori este nevoie în legătură cu normele de tehnică a securității muncii specifice lucrărilor și executării manevrelor în instalațiile electrice.

# CUPRINS


Capitolul 1. **Introducere** . . . . . 3

A. *Scopul manualului* . . . . . 3
B. *Surse energetice naturale* . . . . . 3
C. *Sisteme energetice* . . . . . 5
D. *Scurt istoric al dezvoltării sistemului energetic al R.S. România* . . . . . 6

Capitolul 2. **Linii electrice aeriene de joasă și medie tensiune** . . . . 8

A. *Conductoare* . . . . . 8
B. *Izolatoare* . . . . . 9
C. *Stîlpi* . . . . . 11
D. *Armături și cleme* . . . . . 15
E. *Plantarea stîlpilor* . . . . . 20

Capitolul 3. **Linii electrice aeriene de înaltă și foarte înaltă tensiune** 22

A. *Elemente componente* . . . . . 22
1. Conductoare . . . . . 22
2. Izolatoarele liniilor electrice aeriene de înaltă și foarte tensiune . . . . . 23
3. Armături și cleme pentru liniile electrice aeriene de înaltă și foarte înaltă tensiune . . . . . 24
4. Stîlpii liniilor electrice aeriene de înaltă și foarte înaltă tensiune . . . . . 31
B. *Elemente de realizare și exploatare a liniilor electrice aeriene* . . . . . 37
1. Realizarea liniilor electrice aeriene. . . . . 37
2. Exploatarea liniilor electrice aeriene . . . . . 39

Capitolul 4. **Linii electrice subterane de joasă și medie tensiune** . . . 41

A. *Elementele componente ale liniilor electrice subterane* . . 41
1. Cabluri electrice de energie . . . . . 42
2. Manșoane de înnădire . . . . . 46
3. Cutii terminale . . . . . 47
B. *Construcția liniilor electrice subterane* . . . . . 48
1. Pozarea cablurilor . . . . . 49
2. Montarea manșoanelor de înnădire . . . . . 53
C. *Exploatarea liniilor electrice subterane* . . . . . 54
1. Urmărirea funcționării liniilor electrice subterane . . 54

2. Activitatea preventivă în exploatarea liniilor electrice subterane . . . . . 55
3. Repararea liniilor electrice subterane . . . . . 57
4. Determinarea punctului de defect în cabluri . . . . 58

Capitolul 5. **Linii electrice subterane de înaltă tensiune** . . . . . 60

A. *Elementele componente ale liniilor electrice subterane de înaltă tensiune* . . . . . 60
1. Cabluri electrice de energie . . . . . 60
2. Manşoane . . . . . 62
3. Cutii terminale şi accesorii . . . . . 63
B. *Construcţia liniilor electrice subterane* . . . . . 63
1. Transport şi manipulare . . . . . 64
2. Condiţii generale la pozarea cablurilor . . . . . 64
C. *Exploatarea liniilor electrice subterane de înaltă tensiune* 66
1. Verificări, încercări şi probe necesare punerii în funcţiune a liniilor electrice subterane . . . . . 66
2. Încercări şi verificări profilactice . . . . . 67
3. Repararea liniilor electrice subterane de înaltă tensiune . . . . . 67
4. Măsuri de protecţie a muncii la liniile electrice subterane . . . . . 68

Capitolul 6. **Executarea lucrărilor în instalaţiile electrice aflate sub tensiune** . . . . . 69
A. *Metoda de lucru şi principalele lucrări ce se pot executa sub tensiune* . . . . . 69
1. Metodele de lucru sub tensiune . . . . . 69
2. Principalele lucrări ce se pot executa cu instalaţiile sub tensiune . . . . . 70
3. Avantajele executării lucrărilor sub tensiune . . . . 71
4. Instrucţiuni generale privind executarea lucrărilor sub tensiune . . . . . 71
B. *Instrucţiuni tehnice pentru executarea unor lucrări de branşamente la liniile electrice sub tensiune* . . . . . 72
1. Racordarea branşamentelor la liniile electrice aeriene . . . . . 73
2. Racordarea branşamentelor la liniile electrice subterane . . . . . 73

Capitolul 7. **Reţele electrice comunale** . . . . . 77

A. *Instalaţii electrice de distribuţie din reţelele comunale* . . 77
1. Puncte de alimentare . . . . . 77
2. Posturi de transformare . . . . . 83
3. Puncte de conexiuni în reţelele comunale 89
B. *Linii electrice comunale* . . . . . 91
C. *Branşamente la consumatori* . . . . . 92
D. *Schemele de conexiuni ale reţelelor electrice comunale* . . 93
1. Reţele electrice comunale de joasă tensiune . . . . 94
2. Reţele electrice comunale de înaltă tensiune . . . 98
E. *Exploatarea instalaţiilor de distribuţie din reţelele comunale* 103

Capitolul 8. **Iluminatul electric exterior** . . . . . 105

1. Iluminatul arterelor de circulație . . . . . 105
2. Iluminatul parcurilor și al spațiilor verzi . . . . . 107
3. Iluminatul monumentelor de arhitectură și al fațadelor . . . . . 108
4. Iluminatul publicitar și decorativ . . . . . 108
5. Iluminatul terenurilor sportive . . . . . 109
6. Iluminatul terenurilor industriale . . . . . 110
7. Alimentarea cu energie electrică a iluminatului public . . . . . 110
8. Exploatarea și întreținerea iluminatului electric . 112

Capitolul 9. **Principii de calcul mecanic al liniilor electrice** . . . . . 114

A. *Studiul lănțișorului* . . . . . 114
1. Caracteristici geometrice . . . . . 114
2. Caracteristici mecanice . . . . . 115
3. Ecuația de stare a conductorului . . . . . 115
B. *Forțele care acționează asupra conductoarelor* . . . . . 117
1. Forțe ocazionale . . . . . 117
2. Sarcini specifice . . . . . 118
C. *Calculul mecanic al conductoarelor* . . . . . 121
1. Coeficienți de siguranță . . . . . 121
2. Deschiderea critică . . . . . 122
3. Temperatura critică . . . . . 122

Capitolul 10. **Calculul electric al rețelelor electrice** . . . . . 127

A. *Parametrii liniilor electrice* . . . . . 127
1. Rezistența . . . . . 128
2. Conductanța . . . . . 129
3. Susceptanța capacitivă . . . . . 130
4. Reactanța inductivă . . . . . 131
B. *Parametrii transformatoarelor* . . . . . 132
C. *Calculul repartiției curenților și tensiunilor în rețelele electrice* . . . . . 133
1. Linia trifazată cu un singur consumator 134
2. Linia trifazată cu mai mulți consumatori . . . . . 136
D. *Determinarea secțiunii conductoarelor* . . . . . 137
1. Determinarea secțiunii conductoarelor pe baza încălzirii admisibile . . . . . 138
2. Determinarea secțiunii conductoarelor pe baza pierderilor de tensiune . . . . . 140
3. Determinarea secțiunii conductoarelor pe baza densității economice . . . . . 143

Capitolul 11. **Tratarea neutrului în rețelele electrice** . . . . . 147

A. *Rețele cu neutrul izolat* . . . . . 147
B. *Rețele cu neutrul legat la pământ printr-o bobină de stingere* . . . . . 149
C. *Rețele cu neutrul legat direct la pământ* . . . . . 151

Capitolul 12. **Prize de pămînt** . . . . . 153

A. *Legarea la pămînt a instalațiilor electrice* . . . . . 153
B. *Tensiunea de pas și tensiunea de atingere* . . . . . 155
C. *Prizele de pămînt* . . . . . .
Capitolul 13. **Supratensiuni în instalații electroenergetice** . . . . . 159

A. *Supratensiuni atmosferice* . . . . . 159
B. *Supratensiuni interne* . . . . . 160
C. *Protecția împotriva supratensiunilor atmosferice* . . . . 162
D. *Protecția împotriva supratensiunilor interne* . . . . . 164
E. *Exploatarea și întreținerea dispozitivelor de protecție împotriva supratensiunilor* . . . . . 164

Capitolul 14. **Aparatajul electric din centrale și stații** . . . . . 165

A. *Aparate electrice de comutație* . . . . . 167
1. Contactele aparatelor electrice de comutație . . . . 167
2. Arcul electric în aparatele de comutație . . . . . 171
3. Întreruptoare de înaltă tensiune . . . . . 173
4. Separatoare de înaltă tensiune . . . . . 181
5. Dispozitive de acționare a întreruptoarelor și separatoarelor . . . . . 186
B. *Aparate electrice de protecție* . . . . . 190
1. Siguranțe fuzibile de înaltă tensiune . . . . . 190
2. Descărcătoare electrice . . . . . 194
C. *Aparate limitatoare de curent* . . . . . 198
D. *Aparate pentru alimentarea circuitelor de măsurare și de protecție* . . . . . 199
1. Transformatorul de curent . . . . . 199
2. Transformatorul de tensiune . . . . . 202

Capitolul 15. **Schemele circuitelor primare ale stațiilor electrice** . . . 205

A. *Generalități* . . . . . 205
1. Stații electrice . . . . . 205
2. Posturi de transformare . . . . . 206
B. *Bare colectoare* . . . . . 206
1. Bare colectoare simple . . . . . 206
2. Bare colectoare duble . . . . . 209
C. *Scheme de conexiuni pentru stații electrice de centrale* . . 212
1. Scheme electrice de conexiuni pentru centrale la care toată puterea produsă sau numai o parte este debitată la tensiunea generatoarelor . . . . . 212
2. Scheme electrice de conexiuni pentru centrale la care distribuția puterii se face la tensiuni mai mari decît cea a generatoarelor . . . . . 214
D. *Scheme electrice de conexiuni pentru stații de rețea* . . 215
E. *Scheme electrice de conexiuni ale serviciilor interne de curent alternativ din centrale și stații* . . . . . 218
1. Scheme electrice de conexiuni ale serviciilor interne de curent alternativ din centrale . . . . . 218
2. Scheme electrice de conexiuni ale serviciilor interne de curent alternativ din stații . . . . . 220

Capitolul 16. **Construcția stațiilor electrice** . . . . . 222
A. *Măsuri pentru realizarea condițiilor principale ce se impun în proiectarea și construcția stațiilor* . . . . . 222
1. Măsuri de menținere a nivelului de izolație necesar 223
2. Măsuri de limitare a extinderii arcului electric . . 223
3. Măsuri de reducere a posibilităților de avarie din cauza solicitărilor accidentale mecanice . . . . . 224
4. Măsuri de reducere a pericolului de incendiu . . . 225
5. Securitatea personalului de exploatare și întreținere 225
6. Ușurarea deservirii instalației de către personalul de exploatare și întreținere . . . . . 227
7. Economicitatea soluției adoptate . . . . . 227
B. *Construcția stațiilor electrice exterioare. Criterii ce se iau în considerație la construcția stațiilor electrice exterioare* 227
1. Realizarea instalației . . . . . 228
2. Dispoziția subansamblurilor de stație pe terenuri fără restricții speciale . . . . . 228
C. *Construcția stațiilor electrice interioare* . . . . . 233
1. Instalații de tip deschis cu tensiune de serviciu sub 110 kV . . . . . 236
2. Instalații de tip deschis cu tensiune de serviciu de 110 kV și mai mult . . . . . 237
3. Instalații de tip închis pentru tensiune de serviciu de pînă la 35 kV . . . . . 241
4. Modul de montare a aparatelor . . . . . 242
5. Natura echipamentului . . . . . 242
D. *Construcția punctelor de alimentare și posturilor de transformare* . . . . . 244
1. Construcția punctelor de alimentare . . 244
2. Construcția posturilor de transformare . . . . . 244
Capitolul 17. **Instalații de servicii interne** . . . . . 246
A. *Instalația de curent continuu* . . . . . 247
B. *Gospodăria de ulei* . . . . . 247
1. Curățirea uleiului . . . . . 248
2. Regenerarea uleiului . . . . . 249
C. *Instalația de aer comprimat* . . . . . 249
1. Instalația de producere a aerului comprimat . . . . 249
2. Rețeaua de distribuție a aerului comprimat . . . . 250
D. *Iluminatul electric al centralelor și stațiilor* . . . . . 250
Capitolul 18. **Camera de comandă și circuitele secundare** . . . . . 252
A. *Circuite secundare* . . . . . 252
1. Funcțiuni și categorii de circuite secundare 253
2. Principii de realizare a circuitelor secundare . . . . 254
B. *Aparataj electric și scheme de conexiuni* . . . . . 257
1. Aparate de măsurat și de control . . . . . 257
2. Comanda aparatelor de comutație . . . . . 266
3. Semnalizarea . . . . . 271
C. *Panouri și pupitre* . . . . . 273
D. *Camera de comandă*. . . . . 274